

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

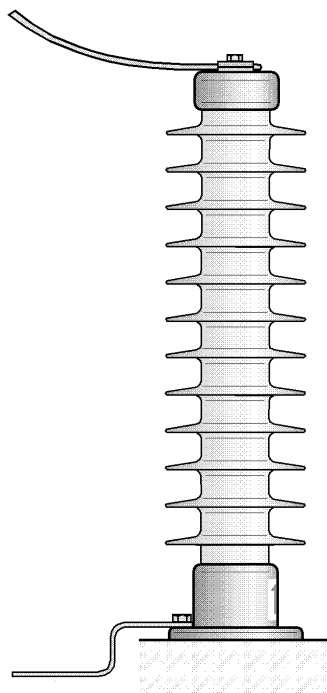
**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до лабораторних робіт**

**з курсу**

**«ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА СТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ»**

(для студентів 3, 4 курсу денної та 4 курсу заочної форм навчання  
за напрямом підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології»  
та слухачів другої вищої освіти зі спеціальності  
7.05070103 «Електротехнічні системи електроспоживання»)



**Харків**  
**ХНУМГ**  
**2014**

Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій (для студентів 3,4 курсу денної та 4 курсу заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» та слухачів другої вищої освіти зі спеціальності 7.05070103 «Електротехнічні системи електроспоживання») / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: В. Г. Воропай, В. М. Гаряжа, Д. В. Румянцев. – Х.: ХНУМГ, 2014. – 46 с.

Рецензент: доцент, к.т.н. Є. Д. Дьяков

Рекомендовано кафедрою електропостачання міст,  
протокол № 6 від 26. 06 .13 р.

## **ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ З ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

Для успішного виконання лабораторної роботи студенту необхідно заздалегідь ознайомитися з методичними вказівками і відповідною літературою, провести в разі необхідності теоретичні розрахунки, підготувати протоколи звіту з таблицями для результатів вимірювань.

Опис кожної лабораторної роботи містить домашнє завдання, порядок виконання роботи, зміст звіту, список літератури.

Лабораторні роботи виконує бригада у складі 2 – 4-х студентів. До виконання лабораторних робіт студенти допускаються тільки після вивчення правил техніки безпеки і відповідному розписі в журналі техніки безпеки.

При виконанні лабораторних робіт необхідно строго виконувати такі правила техніки безпеки:

1 – Перед збиранням схеми необхідно переконатися, що комутаційний апарат, який подає напругу, вимкнений.

2 – Після збирання схеми ще раз переконатися, що всі з'єднання виконані відповідно до принципової схеми, запам'ятати, який апарат чи які відкриті частини схеми будуть знаходитися під напругою при проведенні дослідів.

3 – Подавати напругу на схему слід тільки після її перевірки керівником і з його дозволу.

4 – Не торкатися струмопровідних частин, що знаходяться під напругою.

5 – Усі зміни в схемах і приєднання приладів виконувати тільки після відключення відповідних частин схеми від джерела живлення.

6 – При виникненні неполадок у роботі схеми треба негайно відключити її від джерела живлення і сповістити керівника.

7 – Особливої обережності слід дотримувати при роботі зі схемами, в яких наявні великі ємності або індуктивності.

8 – Після закінчення роботи вимкнути джерело живлення, привести робоче місце в порядок і здати його керівнику.

Після виконання лабораторної роботи кожен студент складає звіт за встановленою формою і захищає його у складі бригади або індивідуально.

# Лабораторна робота № 1

## МАЛОМАСЛЯНІ ВИМИКАЧІ

### 1.1 Мета роботи

Вивчити конструкцію і принцип дії маломасляних вимикачів (ММВ) і освоїти методику їх вибору.

#### 1.2 Домашнє завдання

1.2.1. Вивчити особливості конструкції і принцип роботи ММВ за навчальною літературою [1, с. 145-149; 2, с. 303-313].

1.2.2. Письмово відповісти на такі питання:

- 1) Призначення масла в ММВ.
- 2) Які переваги ММВ порівняно з баковими?
- 3) Основні параметри вимикачів типу ВМП-10, МГГ-10, ВК-10, ВМТ-110.
- 4) Який порядок замикання і розмикання контактів в вимикачах типу МГГ-10?
- 5) На які напруги випускаються ММВ?

1.2.3. Записати умови вибору вимикачів.

1.2.4. Вибрати ММВ в електричному колі (за № бригади), параметри якого вказані табл. 1.1. Накреслити в звіті табл. 1.1 і 1.2 і заповнити їх. При цьому рекомендується користуватися вказівками і довідковими матеріалами, викладеними в [1, 2].

При виборі вимикача спочатку проводять перевірку на симетричний струм вимикання за першою умовою:

$$I_{n0} = I_{\text{вимик.н}} \quad (1.1)$$

а потім за другою умовою перевіряють можливість вимкнення аперіодичної складової струму короткого замикання (с.к.з.):

$$i_{a\tau} \leq \sqrt{2} \frac{\beta_{\text{ном}}}{100} \times I_{\text{вим.н}} \quad (1.2)$$

Аперіодична складова струму короткого замикання

$$i_{a\tau} = \sqrt{2} \times I_{n0} \times e^{\frac{-\tau}{T_a}}, \quad (1.3)$$

де  $T_a$  – постійна часу загасання аперіодичної складової с.к.з.;

$\tau = 0,01 + t_{\text{влв}}$  – найменший час від початку к.з. до моменту розбіжності дугогасильних контактів (0,01 с - мінімальний час дії релейного захисту;  $t_{\text{влв}}$  – власний час вимкнення вимикача).

Якщо друга умова не виконується, то перевіряють за третьою

$$\sqrt{2} \times I_{n\tau} + i_{a\tau} \leq \sqrt{2} I_{\text{отк.н}} \left( 1 + \frac{\beta_{\text{ном}}}{100} \times I_{\text{отк.н}} \right) \quad (1.4)$$

Потім вимикач перевіряють на електродинамічну стійкість за граничними наскрізними струмами КЗ

$$I_{n0} \leq I_{\text{дин}}, \quad i_{y0} \leq i_{\text{дин}} \quad (1.5)$$

Інтеграл Джоуля приблизно визначають за формулою

$$B_K = I_{n0}^2 \left( t_{\text{відкл.}} + T_a \right), \quad (1.6)$$

Таблиця 1.1 – Параметри кіл

Номер кола	$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$I_{\text{роб. нб}}, \text{кА}$	$I_{\text{п.о.}}, \text{кА}$	$i_{\text{уд}}, \text{кА}$	$T_{\text{а}}, \text{с}$	$B_{\text{к}}, \text{кА}^2 \text{ с}$	$I_{\text{п т}}, \text{кА}$	$i_{\text{а т}}, \text{кА}$	$\sqrt{2} \times I_{\text{пт}} + i_{\text{а т}}, \text{к А}$
1	6	930	18	43	0,04		18		
2	10	9000	90	249	0,05		90		
3	10	4000	35	93	0,06		35		
4	35	700	16	42	0,1		16		
5	20	6000	70	100	0,15		70		

Таблиця 1.2 – Параметри вимикача

Номер кола	Тип вимикача	$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$I_{\text{ном.}}, \text{кА}$	$I_{\text{вимк. н}}, \text{кА}$	$\sqrt{2} \times \beta / 100, \text{кА}$	$I_{\text{вимкн. н}}, \text{кА}$	$I_{\text{дин}}, \text{кА}$	$i_{\text{дин}}, \text{кА}$	$\sqrt{2} I_{\text{отк. н.}} (1 + \beta / 100)$	$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} \text{кА}^2 \times \text{с}$

де  $t_{\text{відкл.}} = t_z + t_{\text{вим}}$  ( $t_z$  - час дії релейного захисту, с, можна прийняти рівним часові спрацювання резервного захисту, який дорівнює 4 с).

При перевірці вимикача на термічну стійкість повинна дотримуватися наступна умова:

$$B_K \leq I_{\text{т.ном.}}^2 \cdot t_m \quad (1.7)$$

## 1.2 Опис лабораторних стендів і макетів

На лабораторному стенді "Маломасляні вимикачі" розміщені по одному полюсу вимикачів ВМГ-133, ВМП-10 і ВК-10, з ескізами дугогасильних камер і полюсів вимикачів типу МГГ; окремо розташований стенд з вимикачем типу ВМП-10; вимикач типу ВК-10 знаходиться на візку комплектної розподільної установки (КРУ) типу КМ1.

### *Вимикач типу ВМП-10*

Вимикачі серії ВМП (Рис. 1.1) широко застосовуються в закритих (ЗРУ) і комплектних розподільних пристроях (КРУ) 6-10 кВ, вони мають вбудований пружинний (тип вимикача ВМПП) або електромагнітний (тип ВМПЭ) привід.

Полюсом вимикача є вологостійкий ізоляційний циліндр (склоепоксидний пластик), торці якого армуються металевими фланцями. На верхньому фланці ізоляційного циліндра закріплений корпус з алюмінієвого сплаву, у середині якого розташовані приводний випрямляючий механізм, рухомий контактний стрижень, роликовий струмознімальний пристрій і масловіддільник.

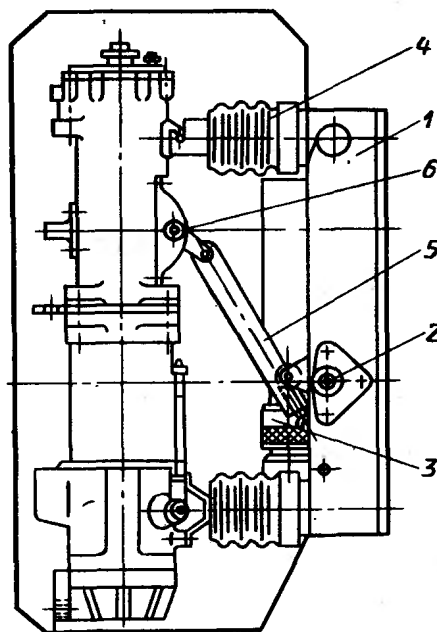


Рис.1.1 – Маломасляний вимикач типу ВМП-10:

1 – сталева рама, 2 – вал вимикача, 3 – буферний пристрій, 4 – фарфорові ізолятори, 5 – ізолююча тяга, 6 – вал бачка

Нижній кінець полюса з силуміну закривається кришкою, в ній знаходиться розетковий контакт, а зовні – пробка для зливання масла. У циліндрі над

розетковим контактом розташовується дугогасильна камера, зібрана з ізоляційних пластин з фігурними отворами. Набір пластин створює три поперечні канали і масляні кишені. У включеному положенні контактний стрижень знаходиться в розетковому контакті. При відключенні привід звільняє вимикаючу пружину, яка знаходиться в рамі вимикача, і під дією її сили вал вимикача повертається, рух передається ізоляційній тязі, а від неї приводному механізму і контактному стрижню, який рухається вгору. При розмиканні контактів виникає дуга, яка випарює і розкладає масло. У перший момент контактний стрижень закриває поперечні канали дугогасильної камери, тому тиск різко зростає, частина масла заповнює буферний об'єм, стискаючи в ньому повітря. Як тільки стрижень відкриває перший поперечний канал, створюється поперечне дуття газами і парами масла. Під час переходу струму через нуль тиск в газопаровому міхурі знижується, і стисле повітря буферного об'єму, діючи подібно до поршня, нагнітає масло в область дуги.

При вимкненні великих струмів утворюється енергійне поперечне дуття і дуга гасне в нижній частині камери.

При вимкненні малих струмів дуга тягнеться за стрижнем, і у верхній частині камери масло випаровується в кишенях, створюючи зустрічно-радіальне дуття, а потім при виході стрижня з камери – поздовжнє. Час загасання дуги при вимиканні великих струмів не перевищує 0,015-0,025 с.

Для підвищення стійкості контактів до дії електричної дуги і збільшення терміну їх служби замінюваний наконечник рухомого контакту і верхні торці ламелей нерухомого контакту облицьовані дугостійкою металокерамікою.

Після гасіння дуги пар і газ потрапляють у верхню частину корпусу, де пари масла конденсуються, а газ виходять назовні через отвір в кришці. Після заповнення камери маслом вимикач готовий для виконання наступного циклу операцій. У разі застосування автоматики повторного вмикання безструмова пауза для цих вимикачів буде близько 0,5 с.

Рівень масла в циліндрі контролюють за вказівником рівня масла.

### ***Вимикач типу ВК-10***

Вимикачі колонкового типу ВК-10 з пружинним і ВКЭ-10 з електромагнітним приводом призначені для застосування в КРУ внутрішньої і зовнішньої установки (Рис. 1.2).

Вимикач складається із збірної підстави 1, на якій знаходяться три полюси, привід, фасадна перегородка, а на вимикачах з номінальним струмом 1250 і 1600 А - ізоляційний кожух у верхній частині вимикача.

Підстава вимикача встановлена на колесах і має пристрій для підйому шторкового механізму до КРУ, зачочування вимикача, його фіксації і стаціонарного заземлення, а також для установки електромагнітних замків блокування, перемикачів блокувальних контактів КРУ.

Полюси вимикача мають штиреві вводи первинних з'єднань з розетковими контактами. Проводи кіл управління, сигналізації і блокування поміщені в гнучкі металеві рукави і розпаяні в штепсельні роз'єми.

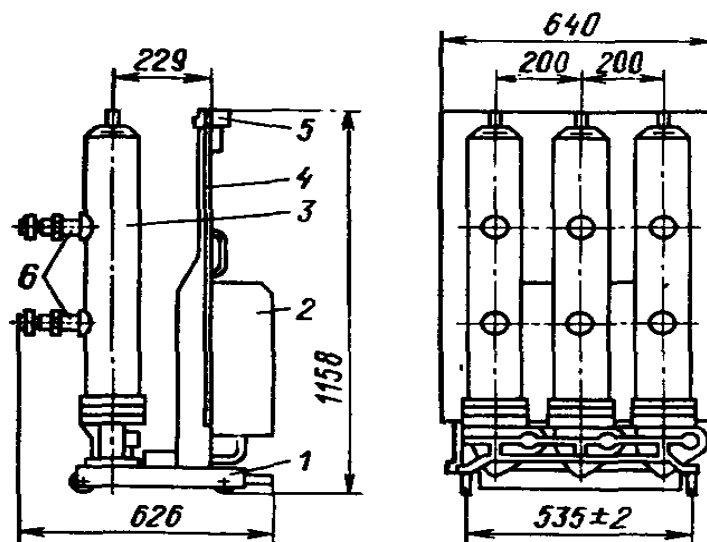


Рисунок 1.2 – Маломасляний вимикач типу ВКЭ-10:

1 – збірна підстава, 2 – привід, 3 – полюс вимикача, 4 – фасадна перегородка, 5 – штепсельний роз'єм, 6 – розеткові контакти

Робота вимикача заснована на гасінні електричної дуги, яка виникає при розмиканні контактів, потоком газомасляної суміші, що утворюється в результаті інтенсивного розкладання масла під дією високої температури дуги. Цей потік отримує певний напрям в спеціальному дугогасильному пристрої, розміщеному в зоні горіння дуги.

### ***Вимикач типу МГ***

Вимикачі типу МГ, МГГ, ВГМ виготовляються на великі номінальні струми за конструктивною схемою, показаною на рис. 1.3. Вимикачі цих серій мають два сталеві бачки на полюсі і дві пари робочих і дугогасильних контактів. Потужні робочі контакти дозволяють збільшити номінальний струм цих вимикачів, а двократний розрив струму і спеціальні камери гасіння приводять до збільшення здатності вимикати.

В кожному бачку розміщені дугогасильні контакти і камери зустрічно-поперечного дугтя. Гази і пара, які утворилися при гасінні дуги, поступають в масловіддільник, який заповнений порцеляновими кульками. Масло конденсується і знову потрапляє в бачок, а гази через вихлопний кінець газовідводу викидаються назовні.

На крайніх фазах встановлені магнітопроводи із електротехнічної сталі, які забезпечують рівномірний розподіл струму по контактним системам. Головні контакти (ножі) розташовані зовні на траверсі і зв'язані ізоляційною штангою з приводом.

В вимикачах цієї серії два контури струму: головний і дугогасильний. Коли вимикач ввімкнений більша частина струму проходить через головний контур внаслідок його меншого опору. При вимиканні спочатку розмикаються головні контакти, але дуга між ними не утворюється тому, що струм проходить в дугогасильному контурі. При вмиканні першими замикаються дугогасильні контакти, а потім – головні.



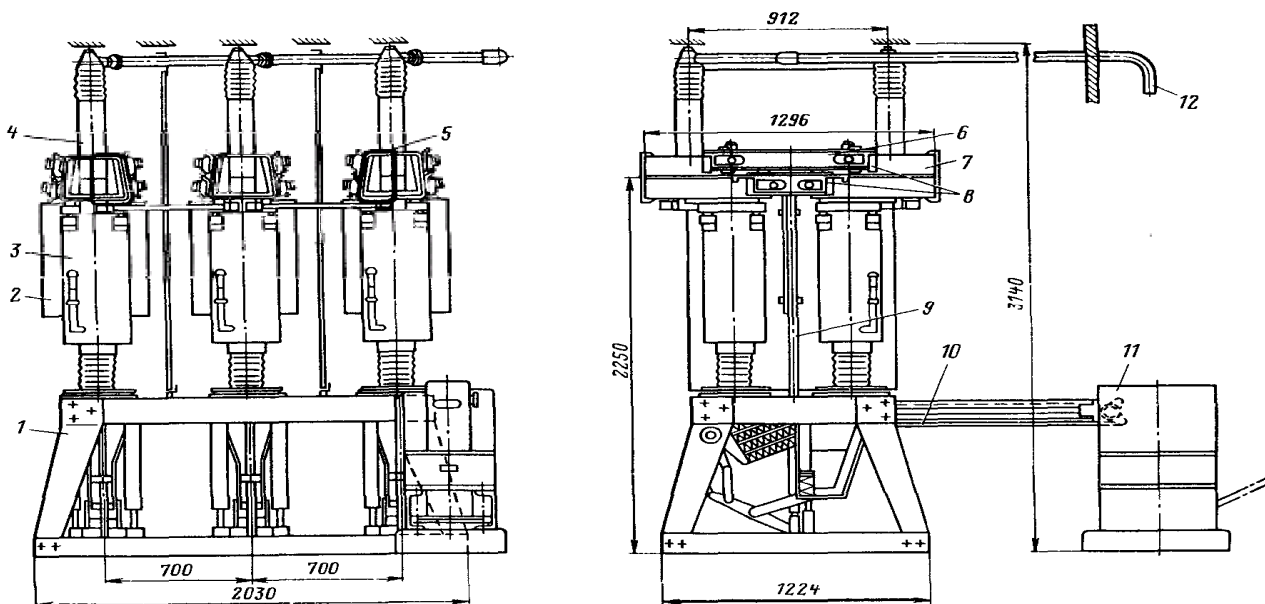


Рис. 1.3 – Вимикач ВГМ-20/11200У3:

1 – підстава, 2 – міжполюсна перегородка, 3 – бак, 4 – масловіддільник, 5 – магнітопровід, 6 – траверса, 7 – вивід для приєднання шин, 8 – ножі головних контактів, 9 – штанга, 10 – тяга до приводу, 11 – привід, 12 – вихлопний кінець газовідводу

#### 1.4 Робоче завдання

1.4.1 Вивчити конструкцію наявних в лабораторії ММВ.

1.4.2. Використовуючи важелі управління, провести вмикання і вимикання вимикачів ВМП-10 і ВК-10. Звернути увагу на шлях струму у включеному стані цих вимикачів.

1.4.3. Вказати в звіті:

- основні елементи вимикача ВМП-10;
- рівні масла у вимикачі ВМП-10;
- основні елементи вимикача ВК-10.

#### 1.5 Контрольні питання

1.5.1 Які типи ММВ представлені в лабораторії?

1.5.2 Назвіть характерні конструктивні особливості всіх типів ММВ.

1.5.3 Поясніть процес гасіння дуги в дугогасильній камері ВМП-10 і ВК-10.

1.5.4 Які особливості гасіння дуги при відключенні малих струмів?

1.5.5 Поясніть призначення сталевго стакана з повітряною подушкою у вимикача ВМП-10.

1.5.6 Які конструктивні особливості вимикачів типу ВК-10?

1.5.7 У яких випадках доцільне розділення функцій робочих (головних) і дугогасильних контактів?

1.5.8 Як здійснюється злив шлаку (осадку масла) і доливання свіжого масла у вимикач?

1.5.9 Поясніть призначення і дію масловіддільників.

1.5.10 Назвіть основні елементи вимикача ВММ-10.

## **Лабораторна робота №2**

### **ВИСОКОВОЛЬТНИЙ ВАКУУМНИЙ ВИМИКАЧ ВВВ – 10**

#### **2.1 Мета роботи**

Вивчити принцип дії і будову вакуумного вимикача (ВВ), електромагнітного привода й елементів схеми керування. Ознайомитися з призначенням і основними технічними даними ВВ типу ВВВ - 10 - 4 - 400.

#### **2.2 Домашнє завдання**

1. Вивчити будову вакуумної камери за підручником.
2. Письмово відповісти на такі питання:
  - 1) Принцип дії вакуумного вимикача.
  - 2) Як забезпечується герметичність вакуумної камери?
  - 3) З яких матеріалів виготовляються контакти вакуумної камери?
3. Вивчити опис лабораторного стенду.

#### **2.3 Будова вимикача**

Найбільш доцільною альтернативою масляним вимикачам є вакуумні вимикачі. У ВВ гасіння дуги відбувається в глибокому вакуумі. Прекрасні дугогасні властивості цього середовища дозволили створити вимикачі на напругу 6 – 110 кВ, які завдяки своїм перевагам витісняють повітряні, масляні, електромагнітні вимикачі.

Переваги вакуумних вимикачів:

- 1 – відсутність необхідності в заміні й поповненні дугогасного середовища, компресорних установок і масляного господарства;
- 2 – висока зносостійкість при комутації номінальних струмів і струмів КЗ;
- 3 – мінімум обслуговування, зниження експлуатаційних витрат (майже в 2 рази в порівнянні з існуючими.) Термін служби 25 років;
- 4 – швидке відновлення електричної міцності дугогасного проміжку ( 10 - 50 )  $10^3$  В/мкс;
- 5 – повна вибухо – і пожежебезпека;
- 6 – надійна робота у випадку, коли в процесі відключення малого струму в колі виникає струм КЗ (дугогасні пристрої масляних вимикачів зазвичай розриваються);
- 7 – широкий діапазон температур навколишнього середовища, у якому можлива робота вакуумних дугогасних камер (ВДК) (від -70 до +200<sup>0</sup> С);
- 8 – підвищена стійкість до ударних і вібраційних навантажень;
- 9 – довільне робоче положення ВДК;
- 10 – безшумність, чистота, зручність обслуговування, обумовлені малим виділенням енергії в дузі й відсутністю зовнішніх ефектів при відключенні струмів КЗ;
- 11 – відсутність забруднення навколишнього середовища;

- 12 – порівняно малі маси й габаритні розміри й невеликі динамічні навантаження на конструкцію й фундамент;
- 13 – висока швидкодія;
- 14 – можливість організації високоавтоматизованого виробництва.

Для одержання швидкодії у ВДК знайшла широке застосування торцева контактна система. Вона дає можливість мати малий хід контактів ( 10-20 мм) і невеликий власний час відключення. Проста конструкція контакту дозволяє створити технологію, при якій добре дегазуються струмопровідні елементи вимикача, що дуже важливо для забезпечення високого вакууму великої стабільності.

Як відомо, торцевий контакт має високий перехідний опір і, отже, більші теплові втрати при номінальному струмі 2000 – 4000 А. Через те, що контактні стрижні розташовуються у вакуумі, віддача теплоти відбувається в основному за рахунок теплопровідності уздовж тіла контакту й передачі теплоти в навколишнє середовище через зовнішні контакти вимикача й приєднані до них шини. Частина теплоти, що виділяється в перехідному контакті й тілі контактів, віддається випромінюванням.

Велика потужність, яка виділяється в торцевому контакті, також пов'язана з тим, що для забезпечення високої динамічної стійкості контактної системи й великого номіналу струму застосовується вольфрам або металокераміка на його основі. Ці матеріали завдяки своїм фізичним властивостям дають високий перехідний контактний опір. Зовнішній приєднувальний контакт виконується із посрібленої міді й має граничну припустиму температуру  $105^{\circ}\text{C}$ . Якщо температура навколишнього середовища дорівнює  $40^{\circ}\text{C}$ , то потужність, що підводиться до зовнішнього контакту повинна бути розсіяна при перепаді температури  $65^{\circ}\text{C}$ . При торцевому контакті вдається удержати температуру в зазначених межах при струмі  $I_{\text{ном}} = 600 - 700\text{A}$ . При збільшенні номінального струму втрати різко зростають, що приводить до необхідності застосування контактного стрижня більшого перерізу. Для зменшення температури зовнішнього контакту вимикача він приєднується до кола декількома мідними шинами з розвинутою поверхнею.

Найбільш підходящим матеріалом для торцевих контактів є вольфрам. Вольфрамові контакти стійкі проти зварювання і дають найбільший струм відключення. Однак у міру розвитку ВДК у вольфраму був виявлений ряд недоліків. При відключенні навантаження з великим хвильовим опором були виявлені значні перенапруги, які часто приводили до пробою ізоляції устаткування, що відключається. Справа в тому, що завдяки фізичним властивостям вольфраму при малих струмах різко падає щільність його пари у вакуумній дузі. Через це дуга горить нестабільно і обривається раніше, ніж струм підійде до нуля (цей струм називається струмом зрізу). На навантаженні виникає напруга  $U = i_{\text{зр}} \sqrt{L/C}$ , де  $i_{\text{зр}}$  – струм зрізу,  $L$  і  $C$  – відповідно індуктивність і ємність кола, яке вимикається. У мідних контактів також спостерігаються зрізи струму, але струм у багато разів менший, ніж у вольфрамових. Для зменшення струму зрізу у вольфрамових контактів у матеріал контактів дається добавка сурьми 4 - 5 %. При цьому струм зрізу зменшується до 4 А. Однак такий спосіб обмеження перенапруг застосовується тільки у вакуумних контакторах, тому що у вимикачах на більші

струми в процесі відключення сурьма, з'єднуючись із міддю контактів, збільшує перехідний опір і нагрівання контактів номінальним струмом.

У потужних вакуумних вимикачах застосовуються мідні контакти. Для обмеження перенапруг при відключенні навантаження з великим значенням  $\sqrt{L/C}$  застосовуються шунтувальні ланцюжки або нелінійні обмежувальні опори – варистори. Струм  $i_{зр}$  повинен бути менш 4 – 5 А. Опори включаються між проводами фази й землею.

Для одержання високого значення струму відключення необхідно домогтися рівномірного розподілу теплового потоку дуги площею контакту. Для цього на дугу впливають магнітним полем. Якщо таких заходів не вживати, то дуга концентрується на невеликій плямі діаметром 1 – 3 см і струм відключення падає до 5 – 10 кА навіть при великому діаметрі контакту.

Для збільшення струму відключення інколи з'єднуються декілька камер паралельно.

У перших зразках ВДК усередині камери знаходились тільки контакти. Пари металу електродів, що випаровуються при відключенні, осаджувалися на внутрішній поверхні ізоляційного корпусу дугогасного пристрою. Відбувалося перекриття ізоляції апарата. У зв'язку із цим були введені металеві екрани. Екрани надійно захищали корпус від пари металу, але розподіл напруги усередині камери був недостатньо рівномірним і мали місце випадки пробойів усередині ВДК після того, як процес дугогасіння вже закінчувався. У зв'язку із цим були розроблені екрани, які дозволяють вирівняти напруженість електричного поля в ВДК. Електрична міцність між контактами дугогасного пристрою апарата на початку з ростом відстані збільшується, а потім росте незначно через неоднорідність поля. Тому підвищення електричної міцності дугогасного пристрою відбувається не за рахунок збільшення відстані між електродами, а за рахунок вирівнювання електричного поля. Застосування екранів дозволяє скоротити осьову довжину ВДК й одержати необхідну електричну міцність.

У даній роботі вивчається вакуумний вимикач типу ВВВ – 10 – швидкодіючий, триполюсний, внутрішньої установки, з окремим електромагнітним приводом, який забезпечує багаторазове швидке автоматичне повторне вмикання, дистанційне керування від кіл оперативного керування і відключення від релейного захисту, призначений для комутації трифазних електричних кіл напругою 10 кВ промислової частоти.

Вимикач розрахований на розміщення в комплектних розподільних установках (КРУ). Вимикач виготовлений у кліматичному виконанні В2 і може працювати при температурах від + 55°С до - 40° С, відносній вологості повітря від 40% до 85%. Живлення кіл керування вимикача здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В, 50 Гц.

Основні електричні дані:

- номінальна напруга 10 кВ;
- найбільша робоча напруга 12 кВ;
- номінальний струм 400 А;
- номінальний струм відключення 4 кА;
- повний час відключення – не більш 25 мс;

- власний час відключення – не більш 15 мс;
- комутаційний ресурс при відключенні номінального струму до 5000 операцій;
- комутаційний ресурс при відключенні номінального струму відключення – 100 операцій;
- механічний ресурс – 50000 циклів;
- струм споживання – не більш 15 А при 220 В;
- маса – не більш 55 кг.

Будова:

Вимикач складається власне з вимикача і привода, зв'язаних тягою (Рис. 2.1). На рамі вимикача встановлені три пари опорних ізоляторів (Рис. 2.2). За допомогою кронштейнів на ізоляторах закріплені вакуумні дугогасильні камери 7. На рамі закріплені опори, в яких установлені головний і проміжний вали 14, 19. На головному валу закріплені: три важелі – ізолятори 23, зв'язані механізмами до-тискання з виводами рухомих контактів камер 6; три важелі 19, в які упираються поворотні пружини 20; приводний важіль, зв'язаний через проміжну ланку з приводним важелем проміжного вала 14.

На проміжному валу 14 розміщений важіль, зв'язаний тягою 12 з приводом.

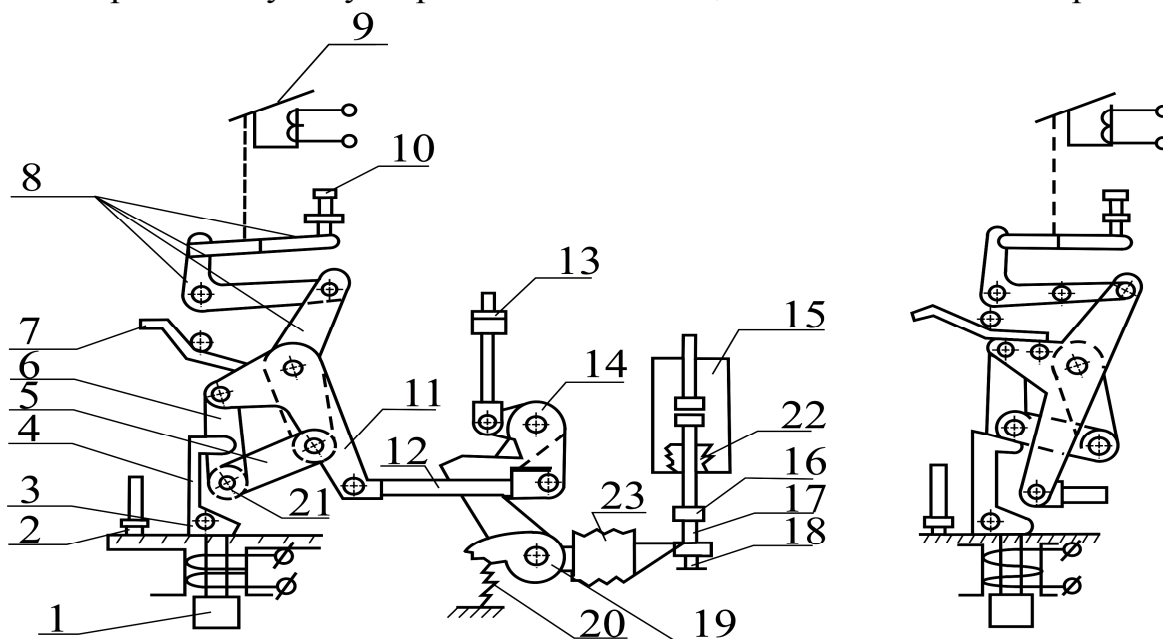


Рис. 2.1 – Кінематична схема вимикача

1 – електромагніт вмикавання, 2 – гвинт регулювання пружини заціпки, 3 – пружина заціпки, 4 – заціпка, 5, 6, 8 – ланки, 7 – важіль приводу блок – контактів, 9 – електромагніт вимикання, 10 – гвинт регулювання зусилля вимикання, 11 – важіль, 12 – тяга, 13 – демпферний пристрій, 14 – вал проміжний, 15 – камера дугогасильна, 16 – гайка регулювання підтискання контактів, 17 – пружина підтискання контактів, 18 – тяга, 19 – головний важіль, 20 – пружина відключення, 21 – вісь, 22 – сильфон, 23 – важіль – ізолятор

Вимикач містить: шини, жорстко зв'язані з нерухомими контактами камер 15 (Рис. 2.1); шини з гнучким струмовідводом від рухомих контактів камер 15 (Рис. 2.2); підпружинену тягу 4 (Рис. 2.2) з регульованим упором, зв'язану з про-

міжним валом і обмежувач переміщення приводного важеля головного вала (демпферний пристрій) 13 (Рис. 2.2); міжполюсні ізоляційні перегородки.

Механізм дотискання полюса вимикача складається з тяги, пружини дотискання, спецгайки і контргайки (Рис. 2.2).

Привод складається з литого корпусу, в якому закріплені: котушка електромагніта вмикання, всередині якого переміщується якір з укріпленням на ньому штовхачем; механізм вільного розчіплювання, що складається з системи ланок, які займають під впливом зовнішніх сил два фіксованих положення. З одною з ланок механізму шарнірно з'єднана тяга, зв'язана з вимикачем; механізм затримки якоря електромагніта вмикання; важіль ручного вмикання; важіль перемикачів блок - контактів; показчик стану вимикача; регулювальний гвинт; блок - контакти; панель елементів схеми керування.

При подачі напруги на обмотку електромагніта вмикання, струм в обмотці, наростає за експонентним законом. Якір електромагніта починає рух і впливає на ролик, установлений на осі, що з'єднує ланки механізму вільного розчіплювання. При переміщенні вгору вісь упирається в нижню частину зуба підпружиненої зачіпки, що загальмовує рух якоря. При подальшому наростанні струму (приблизно до 12 – 14 А), зусилля, що розвивається електромагнітом, збільшується і вісь відводить зачіпку вліво. При цьому знімається гальмування якоря електромагніта, його штовхач повертає ланку за годинниковою стрілкою і передає рух на праве плече важеля. Важіль через тягу повертає важіль, установлений на проміжному валові. Вал повертається за годинниковою стрілкою, зусилля через проміжну ланку передається на важіль, який при цьому повертає головний вал вимикача проти годинникової стрілки. Установлені на валу ізолятори повертаються проти годинникової стрілки і закріпленими на них кронштейнами стискають пружини, установлені на тязі, що йде до рухомих контактів дугогасильних камер. Наприкінці ходу штовхача електромагніта вмикання під вісь попадає зачіпка і механізм вільного розчіплювання виявляється у верхньому зафіксованому положенні. Вимикач ввімкнений.

При подачі команди на вимкнення спрацьовує електромагніт і згинає пари ланок, розташованих у верхній частині механізму вільного розчеплення, вісь яких до цього знаходилася в мертвій точці. Ланки складаються, вісь зіскакує з зачіпки, звільняється важіль і вимикач вимикається.

Схема управління.

Схема кіл управління вимикачем наведена на рис. 2.3. При натисканні кнопки SB1 від попередньо заряджених по колу VD5 – R1 конденсаторів C3 – C6 спрацьовує герконове реле KL1 і своїми контактами замикає коло живлення котушки магнітного пускача KS1. Одні контакти пускача KS1 шунтують SB1, інші – подають напругу на випрямний міст VD1 – VD4, якій живить електромагніт вмикання YAC. Електромагніт вмикання спрацьовує. Наприкінці ходу на вмикання розмикаючі блок - контакти вимикача SQ4, відключають котушку KS1. Замикаючі контакти SQ4 по колу R3 – SQ4 – KS1 остаточно розряджають конденсатори C3 – C6, обмотка реле KL1 знеструмлюється і його контакти відключають котушку вмикання пускача KS1. Електромагніт вмикання YAC знеструмлюється блок – контактами SQ1.

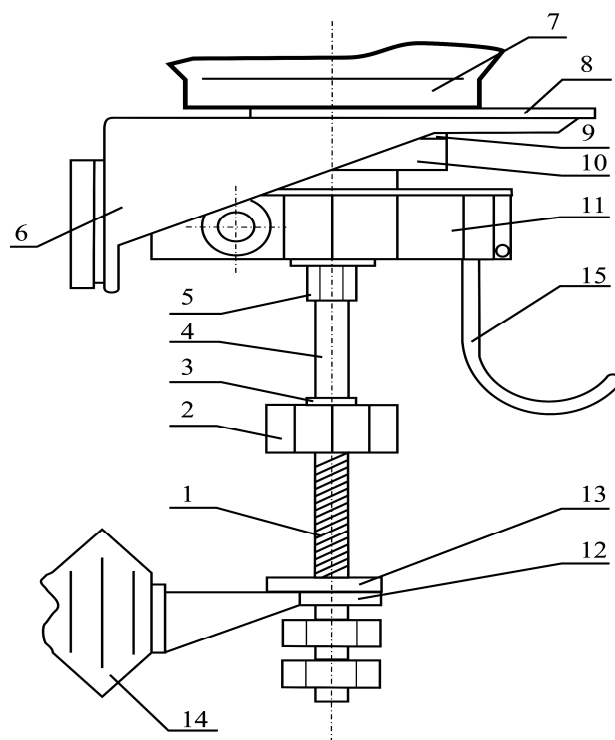


Рис. 2.2 – Механізм дотискання вимикача

1 – пружина підтискання контактів, 2 – спецгайка, 3 – контргайка, 4 – тяга, 5 – контргайка, 6 – кронштейн, 7 – камера дугогасильна, 8 – пластина кріплення виводу, 9 – шайба стопорна, 10 – гайка кругла 11 – хомут 12 – кронштейн, 13 – фіксатор, 14 – важіль – ізолятор

Якщо вимикач ввімкнувся на коротке замикання і релейний захист миттєво або з невеликою витримкою часу його відключив, то повторного вмикання не відбудеться, тому що конденсатори С3 – С6 наприкінці вмикання виявляються розрядженими, реле KL1 не може спрацювати. Таким чином, здійснюється заборона багаторазового включення вимикача, тобто блокування від «стрибання».

При оперативному відключенні вимикача за допомогою кнопки SB2 електромагніт вмикання YAT1 живиться постійним струмом від моста VS1, підключеного до вторинної обмотки трансформатора VT1. При відключенні від релейного захисту YAT1 одержує постійний струм від мостів VS2 і (або) VS3, підключених до вторинних обмоток швидкоконасичувальних трансформаторів струму ТА1 і ТА2, первинні обмотки яких підключаються до вторинних обмоток високовольтних трансформаторів струму ТАА, ТАС фаз А і С відповідно (Рис. 2.3а). Така система живлення котушки, яка відключає YAT, забезпечує надійне вмикання вимикача при коротких замиканнях у первинному колі, коли напруга живлення оперативних кіл знижується нижче припустимої. Коло живлення електромагніту YAT1 замикається блок - контактами SQ3.

При натисканні кнопок вмикання і вимикання цює двопозиційне реле KQ1, контакти якого разом із блок – контактами вакуумного вимикача Q створюють кола «невідповідності» стану схеми керування положенню вимикача, що використовуються в колі живлення лічильника числа аварійних відключень вимикача і для запуску пристрою автоматичного повторного включення.

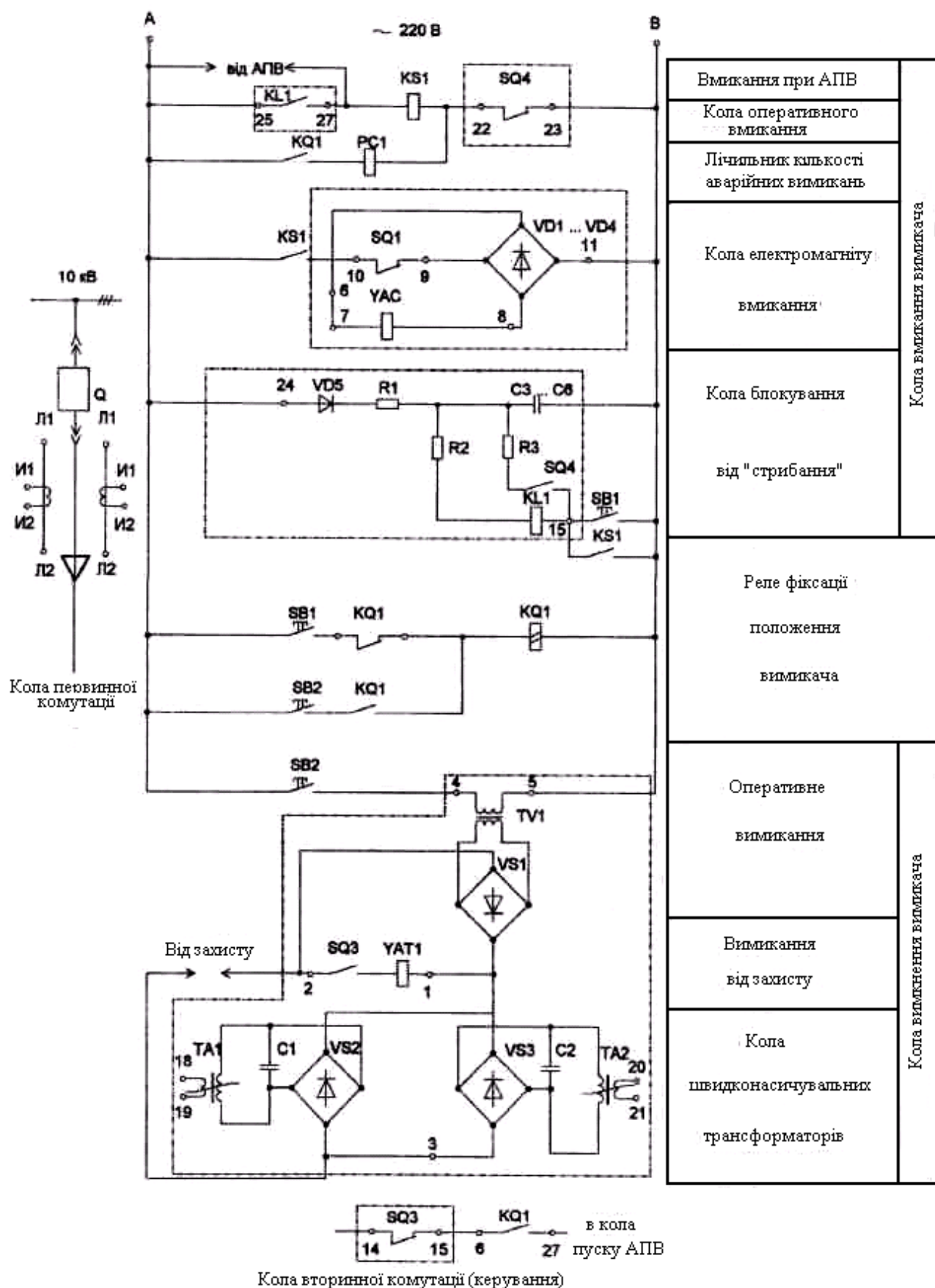


Рис. 2.3 – Схема управління вимикачем



## 2.4 Робоче завдання

1. Вивчити будову вакуумних камер, представлених на стенді лабораторії. Звернути увагу на форму контактів вакуумних камер. Спиральні пази на периферійних ділянках у камері нового типу при розмиканні контактів викликають виникнення радіального магнітного поля, під дією якого дуга переміщається по периферії контактів з високою швидкістю, що не викликає появи великих розплавлених зон на контактах.

2. Визначити замикання й одночасність замикання контактів усередині вакуумних камер для чого зібрати схему, наведену на рис. 2.4.

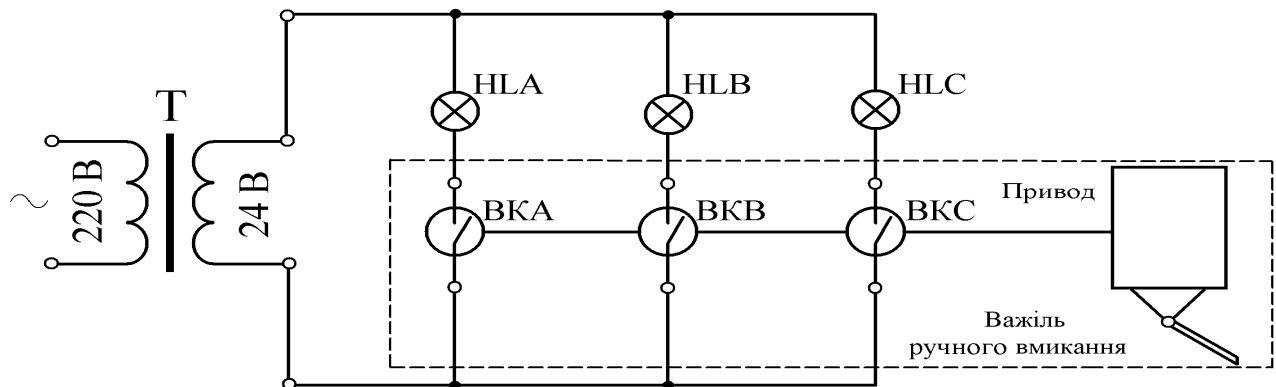


Рис. 2.4 – Схема для перевірки одночасності замикання контактів

Одягнувши на важіль, розташований у нижній частині привода відрізок труби, плавно натискаючи на нього включити вакуумний вимикач, спостерігаючи за світінням лампочок. Результати спостереження і схему контролю замикання головних контактів привести в звіті.

2 Перевірити роботу вимикача при різних напругах живлення оперативних кіл: 175В, 220В, 242В.

При кожній напрузі зробити по три вмикання. Для цього оперативні кола живити через ЛАТР.

Результати навести в звіті.

3 Перевірити операцію вимикання при напругах живлення оперативних кіл: 143В, 220В, 242В. При цьому включати ВВ необхідно вручну, а відключати за допомогою кнопки вимикання SB2 (рис. 2.3 ).

Вимикання виконати при кожній напрузі тричі. Результати привести в звіті.

## 2.5 Контрольні питання

2.5.1 – Наведіть достоїнства і недоліки високовольтних вакуумних вимикачів.

2.5.2 – Визначте область застосування вакуумних вимикачів.

2.5.3 – Поясніть призначення екрану всередині вакуумної камери.

2.5.4 – Для чого торцеві контакти вакуумної камери мають розрізи?

2.5.5 – Яким чином відводиться тепло від торцевих контактів?

2.5.6 – За рахунок чого забезпечується герметичність вакуумної камери?

2.5.7 – Як виконане блокування від багатократних вмикань на коротке замикання в схемі управління вимикача ВВВ - 10?

## **Лабораторна робота №3**

### **ВИМИКАЧІ НАВАНТАЖЕННЯ І РОЗ'ЄДНУВАЧІ ВНУТРІШНЬОЇ УСТАНОВКИ**

#### **3.1 Мета роботи**

Вивчити принцип дії і конструкцію вимикачів навантаження і роз'єднувачів, які застосовуються в закритих розподільних установках (ЗРУ); освоїти основні положення теорії, що використовується при створенні і експлуатації вказаних апаратів.

#### **3.2 Домашнє завдання**

3.2.1 Вивчити питання теорії створення і експлуатації вимикачів навантаження і роз'єднувачів, що використовуються в ЗРУ [1].

3.2.2 Намалювати в звіті, використовуючи пройдений теоретичний матеріал:

- будову дугогасильної камери автогазового вимикача типу ВН-16;
- схеми, що пояснюють використання роз'єднувачів для ізоляції вимикача від суміжних частин розподільної установки і використання роз'єднувачів при перемиканні приєднань розподільної установки під струмом.

#### **3.3 Опис лабораторного стенду**

Лабораторний стенд складається з елементів і ескізів вимикача навантаження типу ВН і роз'єднувачів типу РВО, РВ і РВЗ. Вимикач навантаження в зібраному вигляді змонтований у КРУ типу КН-10.

##### ***Автогазовий вимикач навантаження***

Вартість розподільної установки з вимикачами досить висока. У тому випадку, коли номінальний струм установки невеликий, вимикач з релейним захистом можна замінити вимикачем навантаження і запобіжником. Вимикач навантаження розрахований на відключення робочого струму. Струм короткого замикання таким вимикачем не відключається, проте його здатність вмикання зі всіма типами приводів, за винятком ручних, повинна бути не нижчою відповідної динамічної стійкості при наскрізних струмах к.з. Для відключення струмів к.з. звичайно застосовують запобіжники високої напруги, що з'єднуються послідовно з вимикачем навантаження.

В основі роботи автогазового вимикача навантаження ((Рис. 3.1) лежить принцип гасіння дуги за рахунок потоку газів, що утворюються при дії дуги на стінки камери з газогенеруючого матеріалу (органічне скло, вініпласт).

Вимикач має систему головних контактів і дугогасильний рухомий контакт, що входить в щілину дугогасильного пристрою (ДУ). При відключенні спочатку розмикаються головні, а потім дугогасильні контакти. У вузькій щілині ДУ створюється інтенсивне подовжнє дуття, що викликає гасіння дуги струму, який відключається, і для вимикача цього типу складає 200 – 400 А.

У відключеному положенні між нерухомим і рухомим контактами створюється видимий розрив, тобто одночасно поєднуються функції вимикача і роз'єднувача.

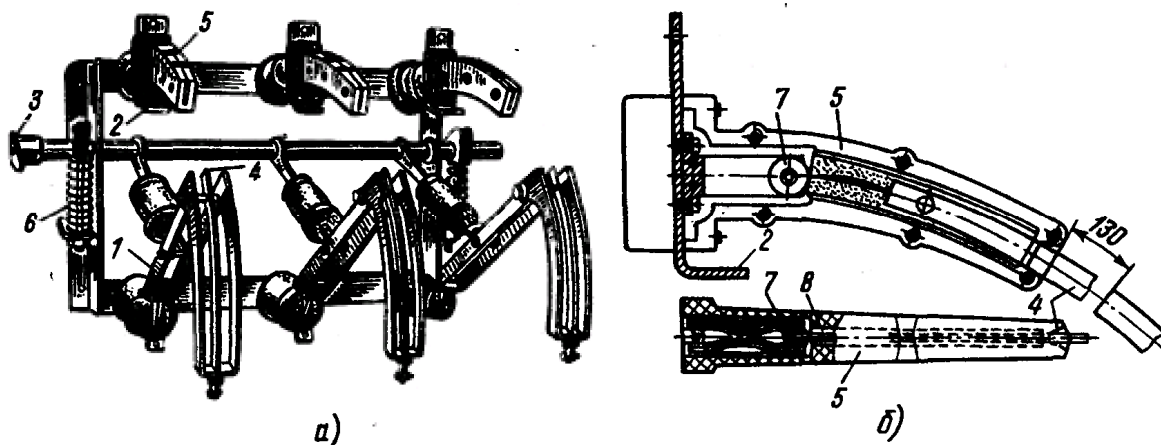


Рис. 3.1 – Вимикач навантаження з гасильними пристроями газогенеруючого типу:

а) загальний вигляд вимикача; б) гасильна камера;

1 – ножі роз'єднувача, 2 – контакти роз'єднувача, 3 – вал роз'єднувача, 4 – допоміжні ножі, 5 – гасильна камера, 6 – пружина, 7 – ковзні контакти дугогасильних камер, 8 – вставки з органічного скла.

Допустима кількість відключень без заміни дугогасильних вкладишів і контактів визначається ступенем зносу вкладишів і дугогасильних контактів. При напрузі 10 кВ такий вимикач навантаження може відключити струм 200 А 75 разів, а струм 400 А – тільки 3 рази.

### *Роз'єднувачі*

Роз'єднувач – це комутаційний апарат, який використовується для вмикання і вимикання електричних кіл в умовах, коли на його контактах не виникає довга відкрита електрична дуга. У вимкненому положенні роз'єднувача на його контактах створюється видимий розрив. У роз'єднувача відсутній дугогасильний пристрій. За цих умов дуга, яка виникає на контактах, гаситься в результаті її розтягування ножем рухомого контакту, тепловими потоками або електромагнітними силами досягши критичної довжини, яка залежить від струму, що відключається, і напруги мережі.

Роз'єднувачі класифікують за конструктивними і деякими іншими ознаками (за характером руху рухомого контакту, родом установки, числом полюсів, способом управління, наявністю або відсутністю заземлювальних ножів).

Для внутрішніх установок роз'єднувачі можуть бути однополюсними (РВО) (Рис. 3.2), або трьохполюсними (РВ, РВК, РВРЗ і ін.).

У роз'єднувачів рубаяючого типу ніж обертається навколо одного з нерухомих контактів, рух ножеві передається від валу через фарфорову тягу. Необхідний тиск в контактах створюється пружинами.

На ізоляторі 1 закріплена мідна шина, зігнута під прямим кутом, яка є нерухомих контактом 2. Бічні частини контакту 2 оброблені під циліндричну поверхню, тому з пластинами ножа б утворюється лінійний контакт. Пружини 4, насаджені на стрижень 5, натискають на сталеві пластини 3, які своїм виступом притискають ножі до нерухомого контакту. Чим більший тиск у контакті, тим

менший перехідний опір, але більше зношення контактів за рахунок тертя при включеннях і відключеннях і тим більше зусилля треба докласти при операціях з роз'єднувачем.

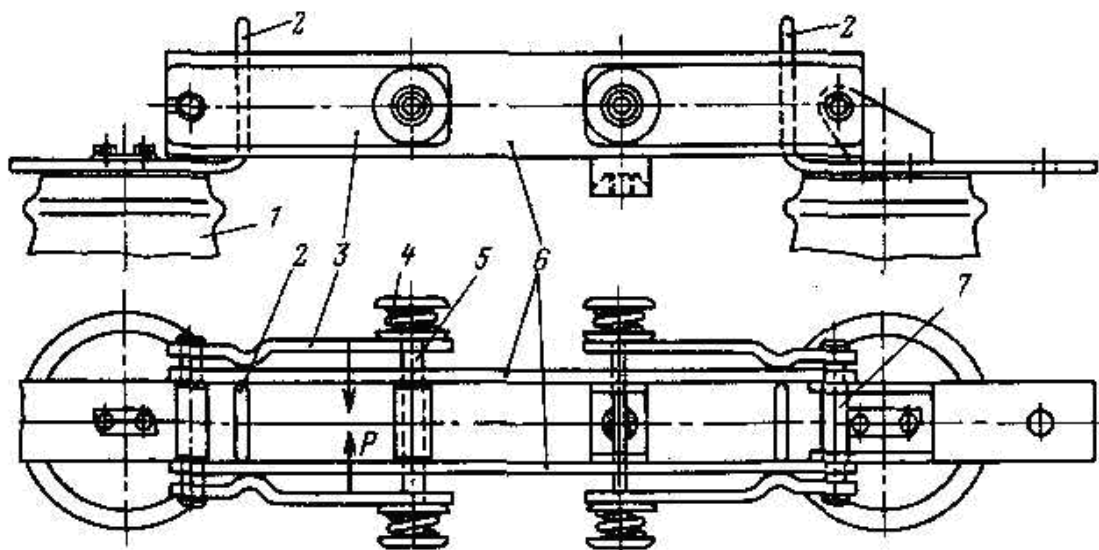


Рис. 3.2 – Роз'єднувач вертикально рубаючого типу РВ:

1 – ізолятор, 2 – нерухомий контакт, 3 – сталеві пластини, 4 – пружина,  
5 – сталевий стрижень, 6 – пластини ножа, 7 – вісь

При проходженні струмів КЗ створюються електродинамічні зусилля в місцях переходу струму з пластин ножа в контакт, які прагнуть відштовхнути ножі від контакту. З другого боку, пластини ножа притягуються одна до одної завдяки взаємодії струмів одного напрямку. При великих струмах КЗ сили відштовхування можуть виявитися більшими, ніж сили притягання пластин ножа, це приведе до відкидання пластин ножа від контакту, виникнення дуги, тобто до аварії. Щоб уникнути цього, в роз'єднувачах передбачається наявність магнітного замку. Він складається з двох сталевих пластин 3, розташованих зовні ножа, які, по-перше, служать для передачі тиску від пружин, а по-друге, намагнітившись струмами КЗ, притягуються одна до одної і створюють додатковий тиск в контакті.

Контактна система роз'єднувача на другому ізоляторі має таку ж конструкцію, але контакти ковзні, шарнірні, а не такі, що розмикаються, оскільки ніж обертається навколо осі 7.

Трьохполюсні роз'єднувачі внутрішньої установки серії РВ складаються з трьох струмопроводів, змонтованих на одній рамі із загальним валом і приводним важелем. Кожен полюс має два нерухомі опорні ізолятори і фарфорову тягу, приєднану до загального валу. Ножі приводять в рух важелем.

Роз'єднувачі із заземлювальними ножами РВЗ (Рис. 3.3) залежно від варіанту виконання мають один або два вали із заземлювальними ножами, які кріпляться до рами.

Заземлюючі ножі можуть бути розташовані з боку шарнірного або роз'ємного контакту або з обох боків. При трьохполюсній установці вони закорочуються загальною мідною шиною.

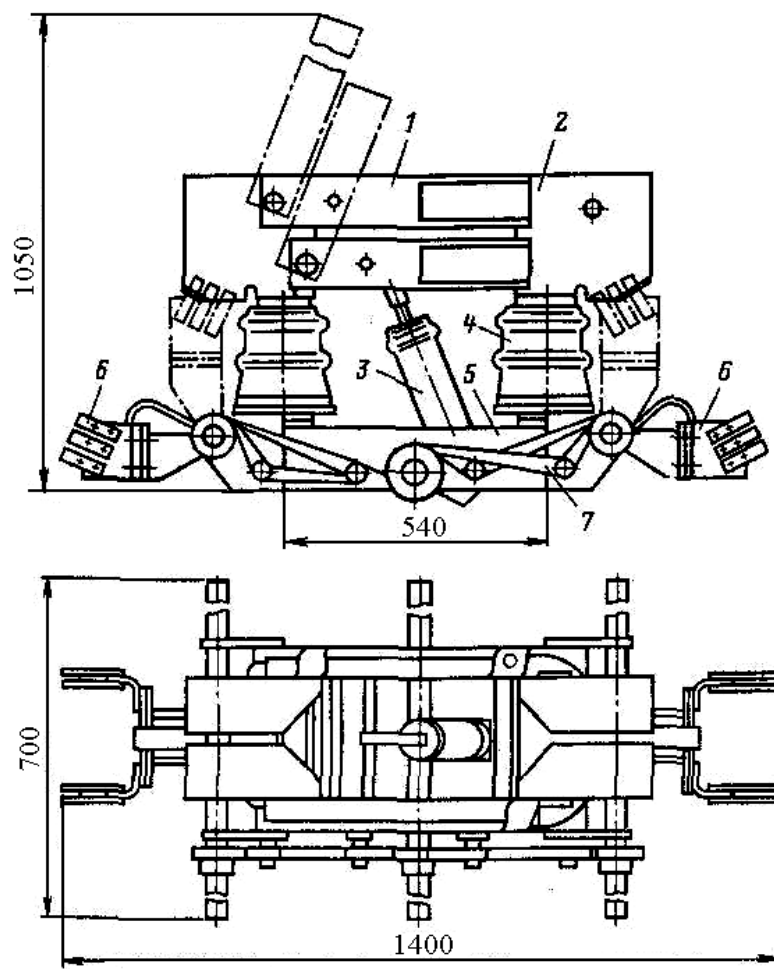


Рис. 3.3 – Роз'єднувач рубуючого типу для внутрішньої установки з двома заземлюючими ножами РВЗ-2-20/8000:

- 1 – головні рухомі контакти; 2 – нерухомі контакти; 3 – фарфорова тяга;  
4 – опорний ізолятор; 5 – рама; 6 – заземлюючі ножі; 7 – блокування

Заземлюючі ножі мають механічне блокування, що не дозволяє вмикати їх при ввімкнених головних ножах. Для управління заземлюючими ножами використовується ручний привід важеля, який складається із системи важелів, що передають рух від рукоятки до валу (ПР), або черв'ячний привід (ПЧ). Включення і відключення головних ножів здійснюється електроприводом (ПДВ), що дозволяє виконувати ці операції дистанційно. Заземлювальні ножі замикають додаткові заземлювальні контакти, закріплені під основними нерухомими контактами. Роз'єднувачі цього типу можуть бути виконані і з прохідними ізоляторами замість опорних (серія РВФ) з аналогічними технічними даними.

1. Вивчити конструкції вимикача навантаження типу ВН-16 і роз'єднувача типу РВЗ-10/630.

2. Вказати в звіті:

- призначення комутаційних апаратів;
- порядок використання роз'єднувачів для перемикачів в приєднаннях розподільних установок під струмом;
- основні елементи вимикача навантаження ВН-16;



- 22

## Лабораторна робота №4 ПЛАВКІ ЗАПОБІЖНИКИ

### 4.1 Мета роботи

Вивчити конструктивні особливості плавких запобіжників і освоїти методику їх вибору.

### 4.2 Домашнє завдання

1. Вивчити за підручником будову плавких запобіжників [1, § 12-3].
2. Записати умови вибору плавких запобіжників.
3. Вивчити опис лабораторного стенду.

### 4.3. Опис лабораторного стенду

На лабораторному стенді представлені зразки запобіжників типу ПР, ПН і НПН, які набули поширення в мережах до 1000 В, і типу ПК, що використовуються в мережах вище 1000 В. Крім стенда в роботі використовується лабораторна установка для зняття струмочасових характеристик плавких вставок.

#### Запобіжники типу ПР

Запобіжники із закритими розбірними патронами без наповнювача типу ПР-2 (Рис. 2.1) виготовляють на 220 і 500 В; номінальні струми 100 – 1000 А; струми, що гранично відключаються, при напрузі 380 В і  $\cos\varphi = 0.4$ , складають 6 – 20 кА.

Патрон запобіжника ПР-2, розрахований на номінальні струми 100 А і вище, складається з товстостінної фібрової трубки, на яку щільно насаджені латунні втулки, що запобігають їй від розриву. На втулки нагвинчені ковпачки, що закріплюють плавку вставку, пригвинчену до ніжок, до установки її в патрон. Щоб уникнути повороту ножів, встановлюють шайбу з фіксуючим пазом.

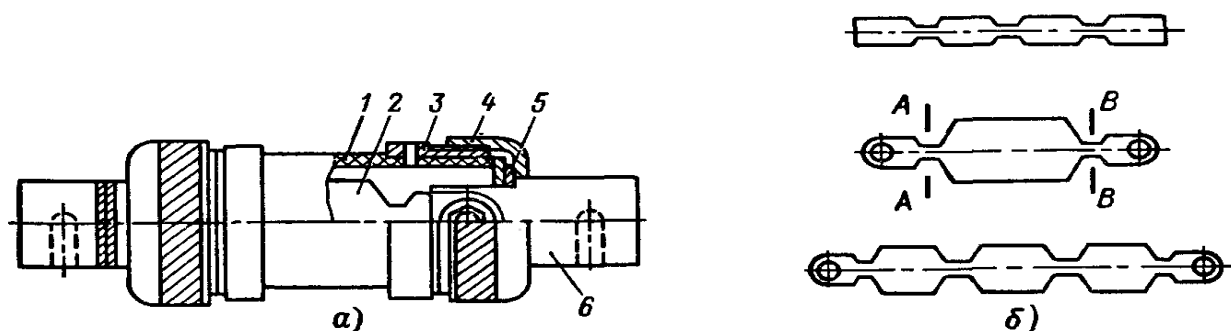


Рис.4.1 – Запобіжник типу ПР-2:

- а) – патрон на номінальні струми 100 – 1000А; б) – форми плавких вставок.  
1 – фіброва трубка, 2 – плавка вставка, 3 – латунна втулка, ковпачки для закріплення плавкої вставки, 5 – шайба, яка перешкоджає повороту ножів, 6 – ніж

Патрон вставляють в нерухомі контактні стійки, закріплені на ізоляційній плиті. Необхідне контактне натиснення забезпечується кільцевою або пластинчастою пружиною.

Плавкі вставки виготовляють з цинку у вигляді пластини з вирізами. На звужених їх ділянках виділяється більше тепла, ніж на широких. При номінальному струмі надмірне тепло завдяки теплопровідності цинку передається широким частинам, тому вся вставка має приблизно однакову температуру. У разі перевантаження нагрів вузьких ділянок відбувається швидше, і вставки плавляться в найгарячішому місці.

При короткому замиканні вставки плавляться у вузьких перерізах. Дуга, що виникає при цьому, викликає утворення газів (50 %  $\text{CO}_2$ , 40 %  $\text{H}_2$ , 10 % пари  $\text{H}_2\text{O}$ ). Тиск залежно від струму, який відключається, може досягати 10 МПа і більше, що забезпечує швидке гасіння дуги і струмообмежувальну дію запобіжника. З метою зменшення виникаючої при відключенні струму к.з. перенапруги вставка має декілька звужених місць, при їх почерговому плавленні повна довжина дугового проміжку вводиться в коло не відразу, а поступово.

### *Запобіжники типу ПН*

Запобіжники типу ПН-2 широко застосовують для захисту силових кіл до 500 В змінного струму і 440 В постійного струму. Їх виконують на номінальні струми 100-600 А. (Рис. 2.2).

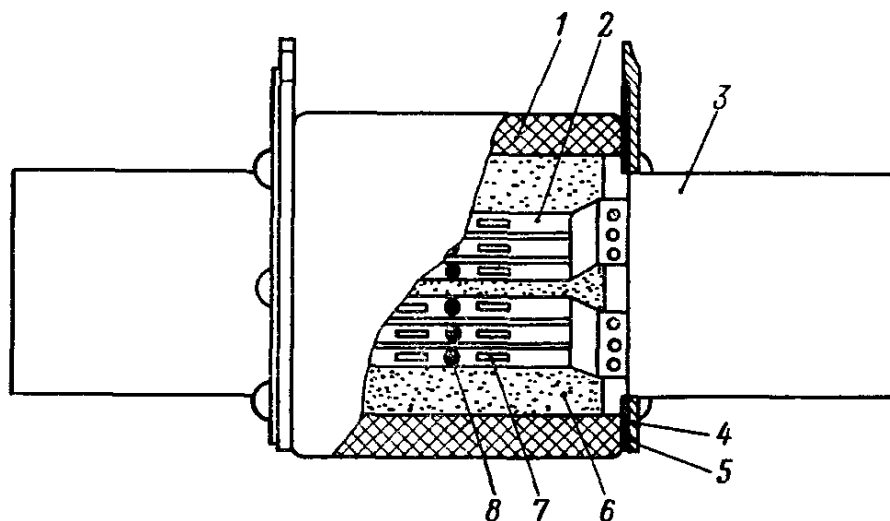


Рис. 4.2 – Запобіжник типу ПН-2:

1 – порцелянова трубка, 2 – плавка вставка, 3 – контактний ніж, 4 – кришка, 5 – ущільнююча прокладка, 6 – кварцовий пісок, 7 – прорізи, 8 – кульки олова

Фарфорова трубка, квадратна зовні і кругла всередині, має чотири різьбові отвори для гвинтів, за допомогою яких кріпиться кришка з ущільнюючою прокладкою. Плавка вставка приварена точковою електрозваркою до шайб врубних контактних ножів. Кришки з азбестовими прокладками герметично закривають трубку, яка заповнена сухим кварцовим піском. Плавка вставка виконана з однієї або декількох мідних стрічок завтовшки 0,15-0,35 мм і шириною до 4 мм. На вставці зроблені прорізи, які зменшують перерізи вставки в 2 рази. Для зниження температури плавлення вставки використовують "металургійний ефект" – на смужки міді напаяні кульки олова. Температура плавлення в цьому випадку не перевищує  $475^{\circ}\text{C}$ . Дуга виникає в декількох паралельних каналах,



що забезпечує найменшу кількість пари металу в каналі між зернами кварцу і якнайкращі умови гасіння дуги у вузькій щілині. Насипні запобіжники так само, як і запобіжники типу ПР, мають струмообмежувальні властивості.

З метою зменшення перенапруг, що виникають при перегоранні плавкі вставки виготовляють з прорізами по довжині, причому їх кількість залежить від номінальної напруги запобіжника (з розрахунку 100 – 150 В на ділянці між прорізами). Оскільки вставки згорають у вузьких місцях, то довга дуга поділяється на ряд коротких, сумарна напруга на яких не перевищує суми катодних і анодних падінь напруги. Наповнювачем в запобіжниках ПН є чистий кварцовий пісок (99 %  $\text{SiO}_2$ ). Замість кварцу може бути застосована крейда  $\text{CaCO}_3$ , яку іноді змішують з азбестовим волокном. При гасінні дуги крейда розкладається з виділенням вуглекислого газу  $\text{CO}_2$  і тугоплавкого матеріалу  $\text{CaO}$ . Реакція відбувається з поглинанням енергії, що сприяє гасінню дуги. Можна використовувати для засипки гіпс  $\text{CaSO}_4$  і борну кислоту. Трубки запобіжників можуть виконуватись також із склотканини, просоченої теплостійкими лаками, із стеатиту або виливатися з пластмас або ізоляційних смол.

### *Кварцовий запобіжник типу ПК*

Кварцові запобіжники, які виготовляються на напругу 3 – 35 кВ, складаються з двох опорних ізоляторів, контактів, укріплених на ізоляторах, і патрона, що вставляється в контакти (Рис. 4.3).

Патрон запобіжника виконаний у вигляді фарфорової трубки із заармованими на її кінцях контактними ковпачками. Плавка вставка залежно від номінального струму складається з одного або декількох посріблених мідних провідників. З метою зниження перенапруг при відключенні струму застосовують вставки змінного перерізу. Для відключення плавкою вставкою струмів перевантаження на і меншому перерізу напаяють олов'яні кульки. При цьому середня температура плавлення вставки знижується від температури плавлення міді ( $1080^\circ\text{C}$ ) до температури, що дещо перевищує температуру плавлення олова ( $230^\circ\text{C}$ ) унаслідок розчинення міді в розплавленому олові. Після розплавлення мідного дроту в місці розташування олов'яної напайки виникає дуга, яка розплавляє дріт по всій довжині. Кварцовий пісок, що заповнює фарфорову трубку, насипається через отвір, який потім закривається кришкою, що напаяється на ковпачок. У нижній кришці встановлений показчик спрацьовування; він за допомогою плавкої вставки стискає пружину в утримувачі. При перегоранні основних плавких вставок згорає і плавка вставка, що утримує показчик. При цьому показчик спрацьовування викидається назовні.

У запобіжниках, що працюють в умовах вібрації і ударів, а також в запобіжниках, розрахованих на невеликі номінальні струми (до 8 А включно) і на номінальні напруги до 20 і 35 кВ плавкі вставки намотуються на ребристий керамічний сердечник, який дозволяє збільшити довжину плавкої вставки, а отже, і ефект струмообмеження. Проте при малих перевантаженнях нагрів дроту може викликати утворення провідного каналу на поверхні каркаса і теплове руйнування запобіжника.

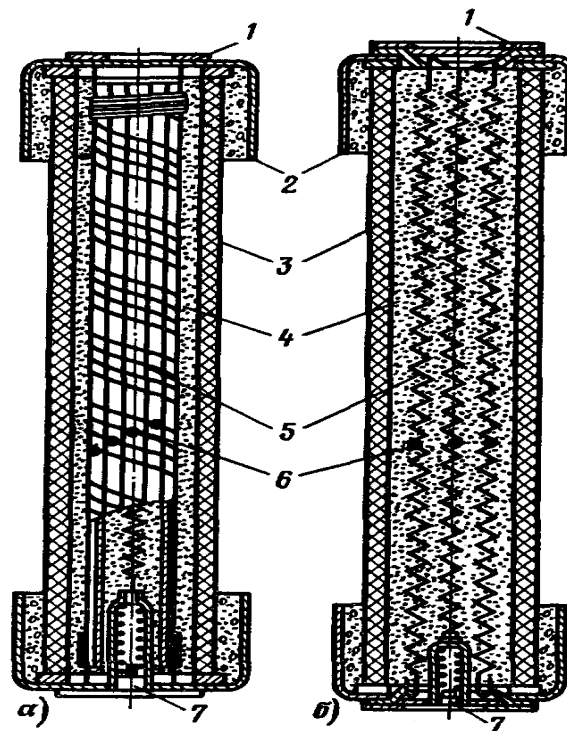


Рис. 4.3 – Запобіжник типу ПК:

а) – на струм до 7,5 А; б) – на струм більше 7,5 А;

1 – торцева кришка, 2 – латунний ковпачок, 3 – порцелянова трубка,  
4 – кварцовий пісок, 5 – плавка вставка, 6 – кульки олова,  
7 – вказівник спрацювання.

Кварцовий пісок, який вживається як наповнювач, в нормальному режимі добре відводить теплоту від плавкої вставки, що дає можливість зменшити її переріз, і інтенсивно відводить теплоту від дугового стовпа при перегоранні плавкої вставки. Але дугогасильні властивості кварцового піску порушуються при попаданні вологи всередину патрона. Тому при виготовленні запобіжників особлива увага приділяється герметизації патрона.

Вибір плавких вставок запобіжників з великою тепловою інерцією у всіх випадках виконують, виходячи з умови

$$I_B \geq I_P \quad (4.1)$$

де  $I_B$  – струм плавкої вставки;

$I_P$  – розрахунковий струм мережі у точці яка захищається.

При виборі плавких вставок запобіжників з малою тепловою інерцією необхідно враховувати характер навантаження. Якщо пускових піків струму немає, їх вибирають у такий же спосіб, як плавкі вставки запобіжників з великою тепловою інерцією.

Якщо при вмиканні електроприймача виникає великий пік струму, плавку вставку запобіжників з малою тепловою інерцією, для уникнення перегорання при запуску, вибирають за умови

$$I_B \geq I_{\Pi} / \alpha, \quad (4.2)$$

де  $I_{\Pi}$  - пусковий струм;

$\alpha$  – коефіцієнт, який залежить від умов запуску електродвигуна. При нормальних умовах пуску приймають  $\alpha = 2,5$ , а при тяжких умовах пуску більше 2,5; при частих пусках приймають  $\alpha = 2 \dots 1,6$ .

Основною характеристикою запобіжника є захисна характеристика, вид якої наведений на рис. 1.1. ( $I_{\text{ном}}$  – номінальний струм плавкої вставки;  $I_{\text{гран}}$  – граничний струм (струм, при якому плавка вставка перегоріє за час не менший однієї години).

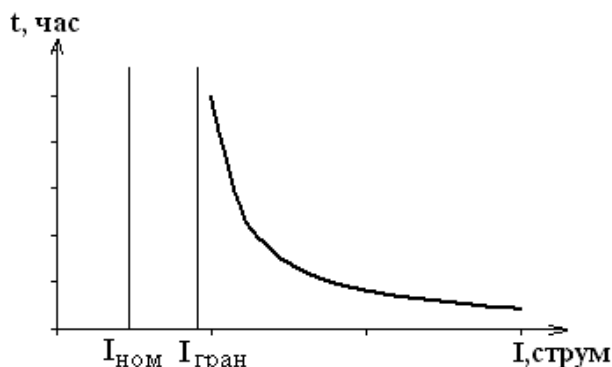


Рис. 2.1 – Струмо-часова характеристика запобіжника

Залежно від матеріалу вставки граничний струм може перевищувати номінальний на (10 – 70) %.

#### 4.4. Робоче завдання

- 4.4.1 – Вивчити конструкцію і принцип дії плавких запобіжників, розміщених на стенді.
- 4.4.2 – Вказати елементи основних типів запобіжників, представлених на стенді.
- 4.4.3 – Вибрати номінальний струм патрона і плавкої вставки запобіжника типу ПР-2 для кіл номінальною напругою 380 В, робочий струм і струм короткого замикання яких вказаний табл. 2.1.
- 4.4.4 – Побудувати струмо-часову характеристику плавкої вставки за результатами дослідів.

Таблиця 4.1 – Параметри запобіжників типу ПР-2

Номер варіанту	Параметри кіл		Параметри запобіжників		
	$I_{\text{роб.нб.}}, \text{ A}$	$I_{\text{по}}, \text{ кА}$	$I_{\text{ном.}}, \text{ A},$		$I_{\text{вим.}}, \text{ кА}$
			патрона	вставки	
1	8	1,1			
2	38	3,2			
3	50	9,6			
4	87	11,0			
5	155	5,5			

Для побудови характеристики плавкої вставки необхідно:

- 1 – Зібрати схему, зображену на рисунку 2.2.

За умовами безпеки запобіжники при досліді вміщуються у спеціальну камеру зі скляною передньою стінкою (дверцятами).

- 2 – Помістити в дослідну камеру на місце плавкої вставки  $F$  спочатку перемичку і за

- допомогою автотрансформатора Tr1 установити струм, близький до граничного.
- 3 – Вимкнути установку і замінити перемичку на плавку вставку;
  - 4 – Ввімкнути автоматичний вимикач і зафіксувати час перегорання вставки.
  - 5 – Аналогічно виконати ще 4...5 дослідів при інших значеннях струму, результати занести в табл. 2.2.

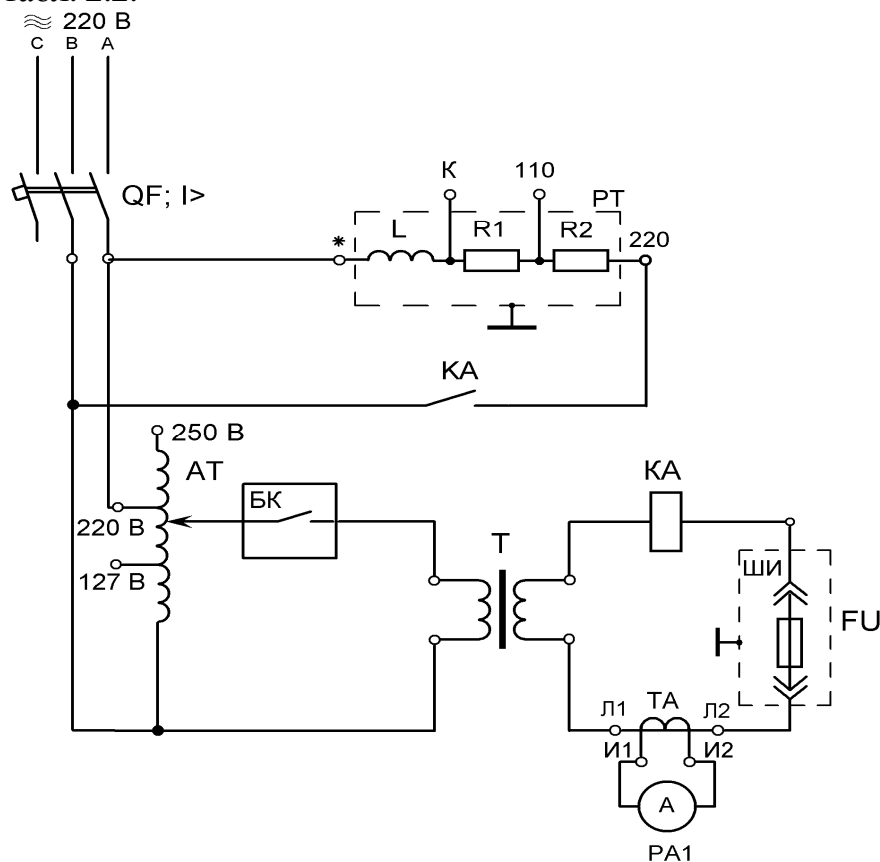


Рис. 4.2 – Схема дослідної установки

Таблиця 4.2 – Струмо-часова характеристика плавкої вставки

Величина струму, А							
Час перегорання, с							

- 6 – Використовуючи дані табл. 4.2, побудувати захисну характеристику плавкої вставки і визначити її номінальний струм.

#### 4.5 Контрольні питання

- 4.5.1. Поясніть принцип дії плавкого запобіжника.
- 4.5.2. Вкажіть призначення кварцового піску в запобіжниках насипного типу?
- 4.5.3. У яких запобіжниках і з якою метою на плавкі вставки наплавляють олово?
- 4.5.4. Що таке номінальний струм запобіжника і номінальний струм плавкої вставки?
- 4.5.5. Що називається граничним і номінальним струмом плавкої вставки?
- 4.5.6. Як виконаний показчик спрацьовування в запобіжниках типу НПН-2?
- 4.5.7. Як відбувається гасіння дуги в газогенеруючих запобіжниках?
- 4.5.8. У яких колах вище 1000 В встановлюються запобіжники?
- 4.5.9. Для яких номінальних напруг виконують запобіжники типу ПК?
- 4.5.10. Наведіть достоїнства і недоліки запобіжників.

## **Лабораторна робота №5**

### **РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ЗА ДОПОМОГОЮ ВОЛЬТОДОДАВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ**

#### **5.1 Мета роботи**

Вивчити принцип дії і схеми вмикання вольтододавального трансформатора, призначеного для регулювання напруги.

#### **5.2. Домашнє завдання**

5.2.1. Вивчити особливості застосування вольтододавальних трансформаторів, зокрема з перемиканням фази.

5.2.3. Письмово відповісти на наступні запитання:

- 1) Чому напруга на виході вольтододавальних трансформаторів з перемиканням фази змінюється ступенями?
- 2) Як вмикаються в мережу вольтододавальні обмотки?
- 3) На яку напругу можуть підключатися обмотки збудження?
- 4) В які схеми можливо з'єднувати обмотки збудження?

#### **5.3 Опис лабораторної установки**

Як модель використовується трифазний двохобмотковий трансформатор з первинною напругою 220/127 В і вторинною – 12 В. (Рис. 4.5)

Живлення здійснюється від трифазної мережі 220/127 В. Вольтододавальні обмотки позначені великими буквами АХ, ВУ, СЗ – вони вмикаються в розріз лінії. Обмотки збудження позначені прописними буквами ах, бу, сз і з'єднуються в різні групи залежно від необхідної величини надбавки напруги.

#### **5.4 Основні теоретичні положення**

Вольтододавальний трансформатор з перемиканням фази (ФВДТ) є однією з різновидностей ступінчатих реверсивних регуляторів напруги. Це значить, що напруга на його виході змінюється не плавно, а ступенями і, крім того, напруга на виході може бути вищою (добавки напруги позитивні) чи нижчою (добавки напруги негативні) від напруги, яка подається на вхід. Конструктивно ФВДТ являє собою звичайний двохобмотковий трансформатор (Рис. 5.1), одна з обмоток якого включена в регульовану мережу послідовно (фазні вольтододавальні обмотки ах, бу, сз), друга паралельно (обмотки збудження АХ, ВУ, СЗ). Обмотки збудження можуть підключатися як на фазну, так і на лінійну напругу.

При такому включенні ФВДТ фазні напруги на його виході (наприклад, 0-2, рис. 5.2) являють собою геометричну суму фазної напруги (В1) на вході і ЕРС (В1-2), індуковану у вольтододавальній обмотці.

Як видно з рис. 4.2, повертаючи вектор цієї ЕРС навколо точки В1, на виході можна одержати різні значення напруг. При різних способах з'єднання збуджуючих обмоток можна одержати 12 положень зазначеного вектора.

За аналогією зі звичайними силовими трансформаторами, при визначенні добавок напруги, створюваних ФВДТ, зручно користуватися позначенням груп

з'єднань обмоток. Непарні групи можна одержати при з'єднанні однієї з обмоток у зірку, а іншої в трикутник, парні групи утворюють однакові схеми з'єднань обмоток, тобто зірка – зірка чи трикутник-трикутник.

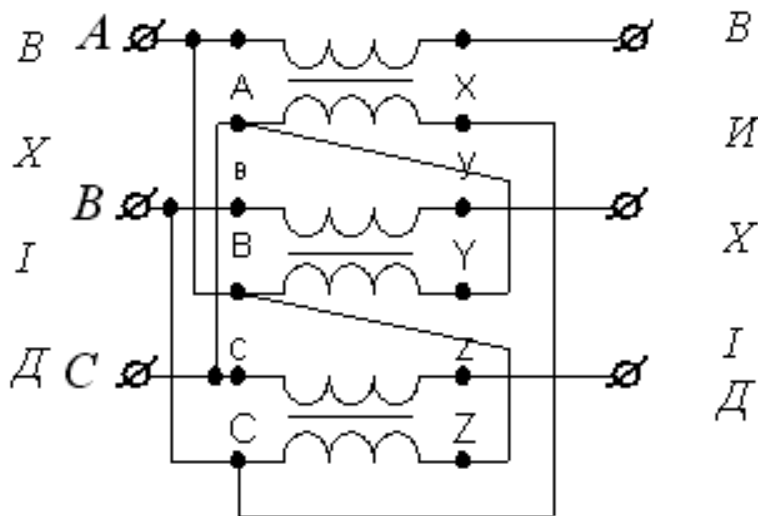


Рис. 5.1 – Схема вольтододавального трансформатора з перемиканням фаз

Якщо вольтододавальні обмотки включені в зірку, то при з'єднанні збуджувальних обмоток теж у зірку утворюються парні групи. ЕРС, що індукуються при цьому у вольтододавальних обмотках, позначаємо через  $E_{вд}$ .

При з'єднанні обмоток збудження в трикутник утворюються непарні групи, а ЕРС, що індукуються у вольтододавальних обмотках, зростає в 1,7 рази.

У зв'язку з тим, що індукована у вольтододавальній обмотці ЕРС складає всього 5-10% від величини вхідної напруги, кут  $\beta$  невеликий, тому величину вихідної напруги  $U_{вих}$  (0-2) можна прирівняти до величини його проекції (ОВ2) на напрямок вхідної напруги, тобто

$$U_{вих} \sim U_{ов1} + U_{в1} + U_{в2} = U_{вх} + \Delta U_p,$$

де  $\Delta U_p$  – проекція на вісь вхідної напруги вектора ЕРС, індуковану у вольтододавальній обмотці.

Величина цієї проекції дорівнює

$$\begin{aligned} & \text{(парна група)} \quad \Delta U_p = E_{вд} \cos \alpha; \\ & \text{(непарна група)} \quad \Delta U_p = 1.7 E_{вд} \cos \alpha \end{aligned}$$

приймається за добавку напруги, створювану ФВДТ.

ФВДТ може створити сім різних за величиною і знаком добавок напруги, які наведені в табл. 5.1.

При експлуатації ФВДТ у мережах перемикання добавок виконують автоматично залежно від напруги на вході і величини навантаження регульованої лінії.

Побудова векторної діаграми. При побудові діаграм необхідно користуватися одним правилом: для того, щоб ЕРС  $E_{вд}$  у вольтододавальній обмотці кожної фази мала бажаний напрямок, до обмотки збудження цієї ж фази повинна бути прикладена напруга, спрямована у бік, протилежний напрямку  $E_{вд}$ . На рис. 5.2 і 5.4 наведені діаграми напруги для III і XII груп з'єднання.

Таблиця 5.1 – Можливі добавки напруги при різних групах з'єднання

№ п/п	Група з'єднання	Величина добавки
1	0 (XII)	$\Delta U_p = E_{вд} \cos 0 = E_{вд}$
2	I або XI	$\Delta U_p = E_{вд} \cos 30 = \sqrt{3}/2 E_{вд}$
3	II або X	$\Delta U_p = E_{вд} \cos 60 = 1/2 E_{вд}$
4	III або IX	$\Delta U_p = E_{вд} \cos 90 = 0$
5	IV або VIII	$\Delta U_p = E_{вд} \cos 120 = 1/2 E_{вд}$
6	V або VII	$\Delta U_p = E_{вд} \cos 150 = \sqrt{3}/2 E_{вд}$
7	VI	$\Delta U_p = E_{вд} \cos 180 = -E_{вд}$

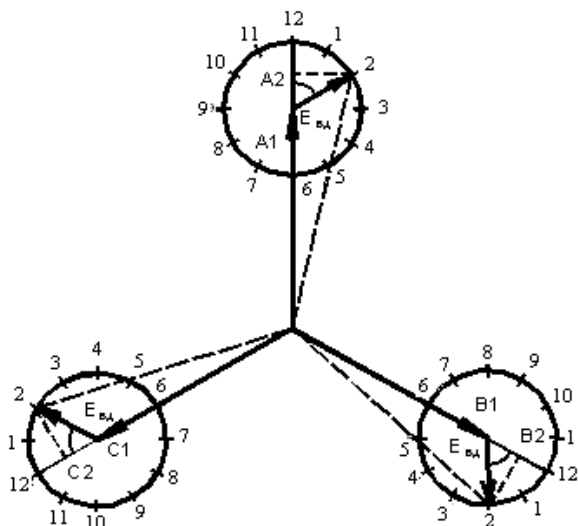


Рис. 5.2 – Складання схеми включення ФВДТ, що відповідає заданій групі з'єднання обмоток

Схему електричних з'єднань ФВДТ, при якій забезпечується задана надбавка напруги, складають на підставі діаграми напруг, побудованої раніше.

При складанні схеми потрібно керуватися наступним:

а) якщо напруга, яку необхідно підвести до обмотки збудження, збігається за напрямком з однією з напруг на вході ФВДТ, то до початку цієї обмотки приєднується та фаза, до якого спрямований вектор співпадаючої вхідної напруги. Кінець обмотки збудження підключається до фази, від якої цей вектор бере початок. Наприклад, з діаграми на рис. 5.3 видно, що напруга  $U_{by}$ , яка повинна бути підведена до обмотки збудження фази В, збігається за напрямком з лінійною напругою АС, що має на вході ФВДТ. Тому початок обмотки “б” включають на фазу “а”, а кінець “в”- на фазу “С”. Аналогічно включають обмотки збудження першої і третьої фаз (див. рис. 5.3,б, в).

На рис. 5.3 дана схема вмикання обмоток збудження, а на рис. 5.1 - повна схема вмикання в третю групу ФВДТ;

б) якщо напруга, яку необхідно підвести до обмотки збудження, збігається з однією з напруг на вході ФВДТ, але спрямована зустрічно, то до кінця цієї обмотки приєднується та фаза, до якої спрямований вектор зустрічної вхідної напруги. Початок обмотки збудження приєднується до фази, від якої цей вектор бере початок. Наприклад, на рис. 5.4,а видно, що напруга  $U_{by}$ , яка має бути

підведена до обмотки збудження фази В, збігається з фазною напругою ОВ, але спрямована зустрічно, тому кінець “b” обмотки “by” включається на фазу В, а початок обмотки “y” повинен мати нульовий потенціал.

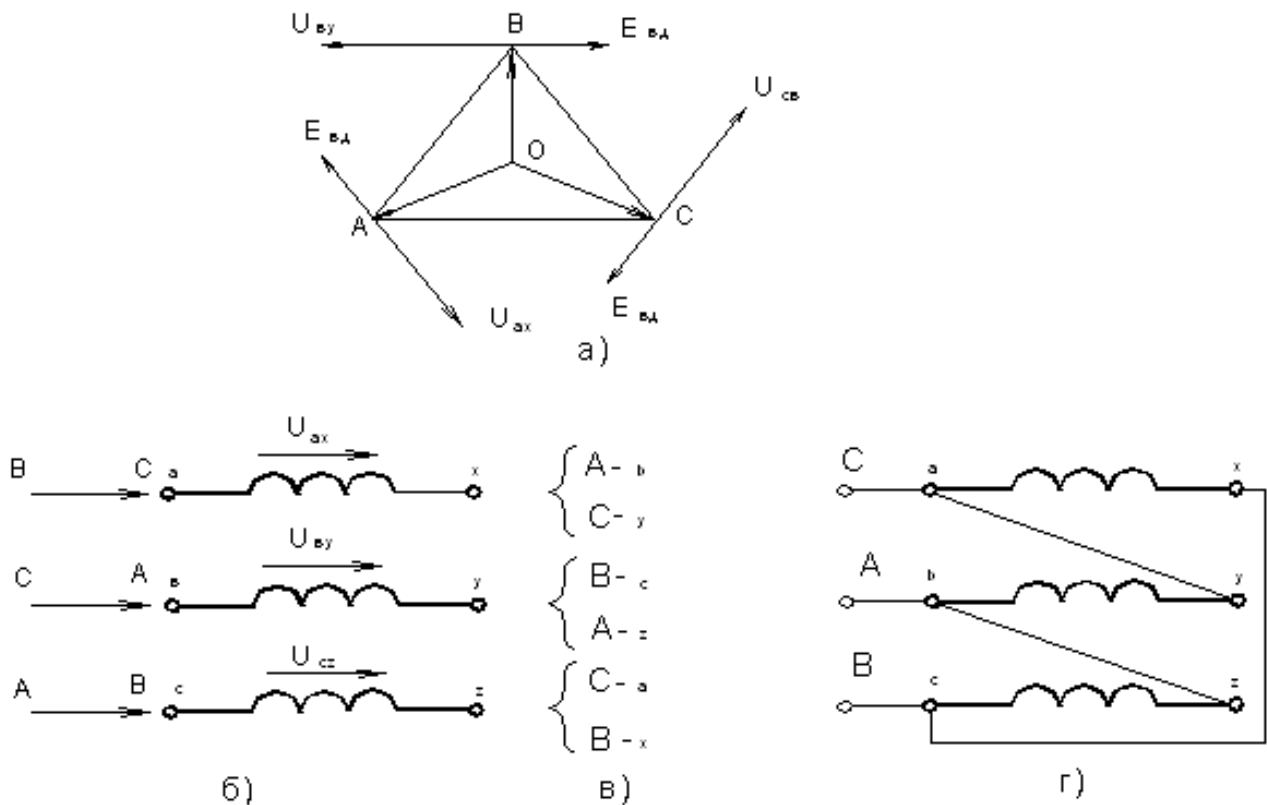


Рис. 5.3 – Схема вмикання обмоток збудження

На рис. 5.4,б показана послідовність визначення схеми вмикання, а на рис. 5.4,в - схема вмикання, при якій обмотки ФВДТ зібрані в групу XII.

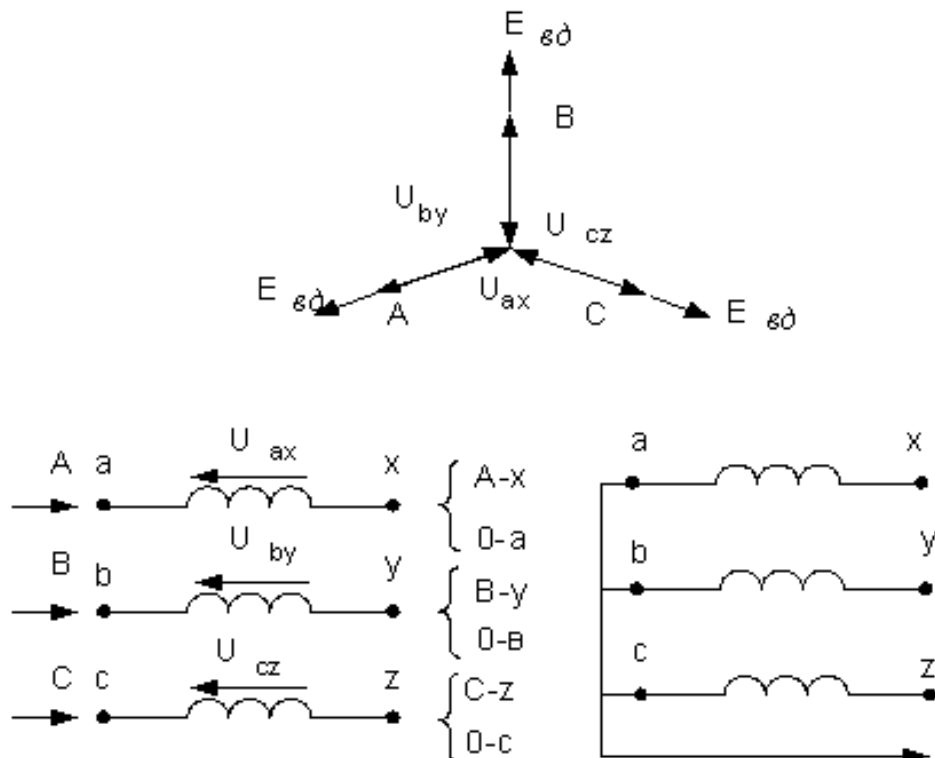


Рис. 5.4 – Схема вмикання обмоток у групу XII.



## 5.5 Робоче завдання

Для виконання лабораторної роботи треба попередньо побудувати векторну діаграму з'єднань обмоток збудження ФВДТ. У звіті треба навести розрахунок  $E_{вд}$ ,  $U_n$ ,  $\Delta U_p$  при заданій групі з'єднань обмоток, векторну діаграму напруги даного варіанта, подати схему підключення ФВДТ, нарисувати схему з'єднання обмоток збудження, навести дані безпосередніх вимірів у заданій схемі, а також зробити узагальнюючі висновки.

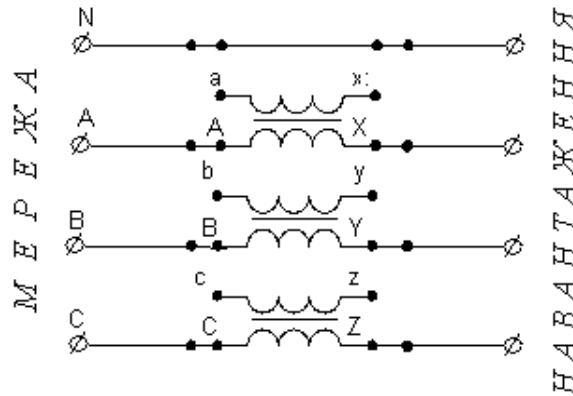


Рис. 5.5 – Схема моделі

## 5.6. Програма виконання робочого завдання

1. За паспортом трансформатора визначити його номінальні дані, записати їх.
2. Приєднати трансформатор до схеми, подати напругу і перевірити паспортні дані за допомогою вимірів. Вимкнути напругу.
3. Зібрати обмотки збудження в зірку з живленням від відповідних фаз.
4. Приєднати вольтододавальні обмотки послідовно з напругою мережі.
5. Після перевірки схеми викладачем подати напругу.
6. Виміряти фазну і лінійну напругу в мережі і на виході ФВДТ. Результати вимірів занести в таблицю.
7. Вимкнути напругу і зібрати схему обмоток збудження відповідно з завданням викладача.
8. Ввімкнути напругу і виміряти її на навантаженні за новою схемою.
9. Визначити результуючу величину  $E_{вд}$  для обох дослідів і порівняти отримані значення з величинами, отриманими аналітичними розрахунками.
10. Зробити висновки за результатами вимірів.

Таблиця 5.2 – Результати вимірів

Схема з'єднання ВДТ	Номінальні дані ВДТ		Результати вимірювань напруги, В											
			Мережа						Навантаження					
	$U_{вн}, В$	$U_{нн}, В$	$U_a$	$U_b$	$U_c$	$U_{ab}$	$U_{bc}$	$U_{ca}$	$U_a$	$U_b$	$U_c$	$U_{ab}$	$U_{bc}$	$U_{ca}$

## **Лабораторна робота № 6** **ФАЗУВАННЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ І ВМИКАННЯ ЇХ НА** **ПАРАЛЕЛЬНУ РОБОТУ**

### **6.1. Мета роботи**

Вивчити особливості фазування трансформаторів і умови їх вмикання на паралельну роботу.

### **6.2. Домашнє завдання**

- 1) Вивчити правила фазування трансформаторів напругою до і вище 1000 В.
- 2) Письмово відповісти на наступні запитання:

Які прилади застосовуються для визначення фаз на напрузі до і вище 1000 В? Чим відрізняється фазування трансформаторів з виведеним нулем від трансформаторів без виведеного нуля?

### **6.3. Опис лабораторного стенду**

До складу стенду входять два трьохфазних трансформатори, вольтметри, фазовказівник ФУ -2 і вольтамперфазоіндикатор ВАФ -85.

### **6.4. Загальні положення**

Електричне устаткування трифазного струму (синхронні генератори, трансформатори, лінії електропередачі) підлягають обов'язковому фазуванню перед першим вмиканням у мережу, а також після ремонту, при якому міг бути порушений порядок проходження й чергування фаз. Фазування складається в перевірці збігу за фазою напруги кожної із трьох фаз, електричної установки що включається з відповідними фазами напруги мережі. Така перевірка необхідна тому, що в процесі складання, монтажу й ремонту устаткування фази могли бути переставлені місцями. Допущені помилки виявляються фазуванням. Фазування складається з трьох істотно різних операцій. *Перша з них* полягає в перевірці й порівнянні порядку чергування фаз установки, що вмикається й мережі. Ця операція проводиться перед вмиканням на паралельну роботу незалежно працюючих електричних систем, нового генератора, а також генератора після капітального ремонту, якщо при цьому змінювалася схема з'єднання обмоток статора з мережею. Тільки після одержання позитивних результатів фазування електричні системи (генератор) синхронізують і включають на паралельну роботу. *Друга операція* складається в перевірці однойменності (кольорів) фаз, з'єднання яких передбачається зробити. Метою цієї операції є перевірка правильності з'єднання між собою всіх елементів установки, тобто, в остаточному підсумку, правильності підведення струмовідних частин до апарата, який вмикається. *Третя операція* складається в перевірці збігу за фазою однойменних напруг, тобто відсутності між ними кутового зсуву. При фазуванні силових трансформаторів обмежуються виконанням двох останніх операцій, тому що відомо – порядок чергування фаз у всіх синхронно працюючих генераторів системи однаковий. Методи фазування різні. Вони залежать від призначення фазованого устаткування (генератори, трансформатори, лінії), схем з'єднання обмоток, а також від приладів і пристосувань, що

використовуються при фазуванні. Нижче розглянуті найбільш доступні методи, що одержали поширення в енергосистемах.

**Збіг фаз.** При фазуванні трифазних кіл можуть бути різні варіанти чергування позначень (кольору) затискачів на апараті, що вмикає, і подачі на них напруги різних фаз. Для простоти подальших міркувань припустимо, що фазовані напруги двох трифазних кіл мають однаковий порядок чергування фаз. При цій умові фази однойменних напруг можуть збігатися, а порядок чергування позначень затискачів у вимикача – ні або, навпаки, при тому самому порядку чергування позначень затискачів фазовані напруги можуть виявитися зсунутими за фазою. Поворот однойменних векторів напруг один відносно одного може на будь-який кут, кратний  $30^\circ$ , що характерно для трансформаторів, які мають різні групи з'єднання обмоток. В обох наведених випадках вмикання вимикача неминує приводить до КЗ. Однак можливий варіант, коли збігається й те, і інше. Коротке замикання між частинами установки, що з'єднуються, тут виключено. Під збігом фаз при фазуванні розуміють саме той випадок, коли однойменні напруги фазованих трифазних кіл збігаються за фазою, а чергування позначень у вимикача затискачів (або їхній колір) погоджено з відповідними фазами напруг і між собою.

### 6.5. Прилади й пристосування, що використовуються при фазуванні

**Вольтметри.** Для фазування в електроустановках напругою до 1000 В застосовують вольтметри змінного струму, які підключаються безпосередньо до виводів електричного устаткування або струмовідних частин апаратів. Великої точності від цих приладів не вимагається, не ставляться також ніякі вимоги і відносно принципу дії. Шкала приладу повинна бути розрахована на подвійну фазну або подвійну лінійну напругу установки залежно від методу фазування й виду фазованого устаткування. При фазуванні устаткування напругою 6 кВ і вище вольтметр підключають до вимірювальних трансформаторів напруги – стаціонарної установки (шинні, генераторні). Застосування переносних трансформаторів напруги з вольтметром на стороні НН не рекомендується, тому що це не безпечно для персоналу.

**Фазопоказчик.** Порядок проходження фаз перевіряють фазопоказчиком ФУ-2 (рис. 5.1).

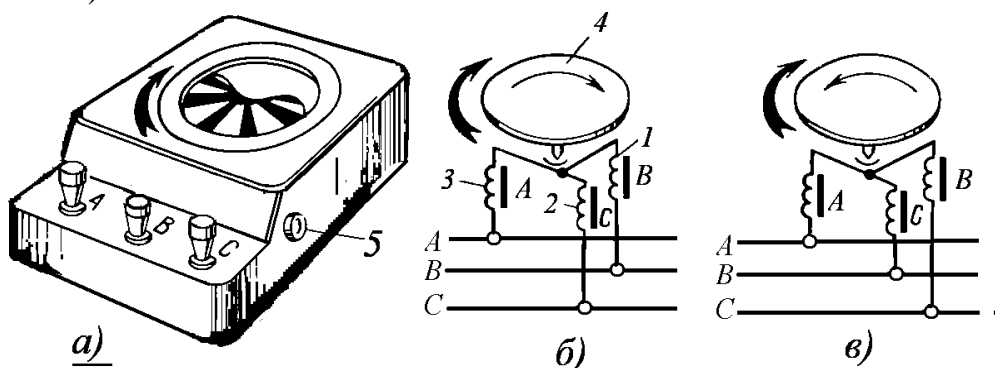


Рис. 6.1 – Фазопоказчик ФУ-2

Прилад складається із трьох котушок 1, 2, 3, намотаних на феромагнітних сердечниках, і легкого алюмінієвого диска 4, закріпленого на осі. Дія приладу заснована на тому ж принципі, що й дія асинхронного двигуна. Якщо три ко-

тушки приладу підключити до трифазної системи струмів, то вони утворять в просторі кругове обертове магнітне поле, що приводить у рух диск у тому напрямку, у якому обертається воно само. Напрямок обертання магнітного поля, а виходить, і диска залежить винятково від порядку чергування фаз струмів у котушках. Для визначення порядку чергування фаз фазопоказчик підключають до системи напруг, що перевіряється. Затискачі приладу марковані, тобто позначені буквами А, В, С. Якщо фази мережі збігаються з маркуванням приладу, то диск буде обертатися в напрямку, зазначеному стрілкою на кожусі приладу. Таке обертання диска відповідає прямому порядку проходження фаз. При обертанні диска у зворотну сторону – зворотному порядку проходження фаз: А – С – В. Прямий порядок проходження фаз зі зворотного одержують зміною місць двох будь-яких фаз. Прилад ФУ-2 розрахований на вмикання в мережу напругою 50-500 В на час не більше 5 с. Обертання диска починається при натисканні кнопки 5.

*Універсальні прилади.* Широке застосування при фазуваннях знайшли універсальні прилади: портативний вольтамперфазоіндикатор ВАФ-85 і універсальний фазопоказчик типу Э-500. Прилад ВАФ-85 (рис. 6.2) дозволяє виміряти напругу промислової частоти до 250 В, кут зсуву між двома напругами й визначити порядок проходження фаз. Прилад Э-500 призначений для виміру фазного кута між векторами напруг у симетричних трифазних системах, а також для визначення порядку проходження фаз і груп з'єднання обмоток трансформаторів. Напруга живлення приладу 110 і 380 В.

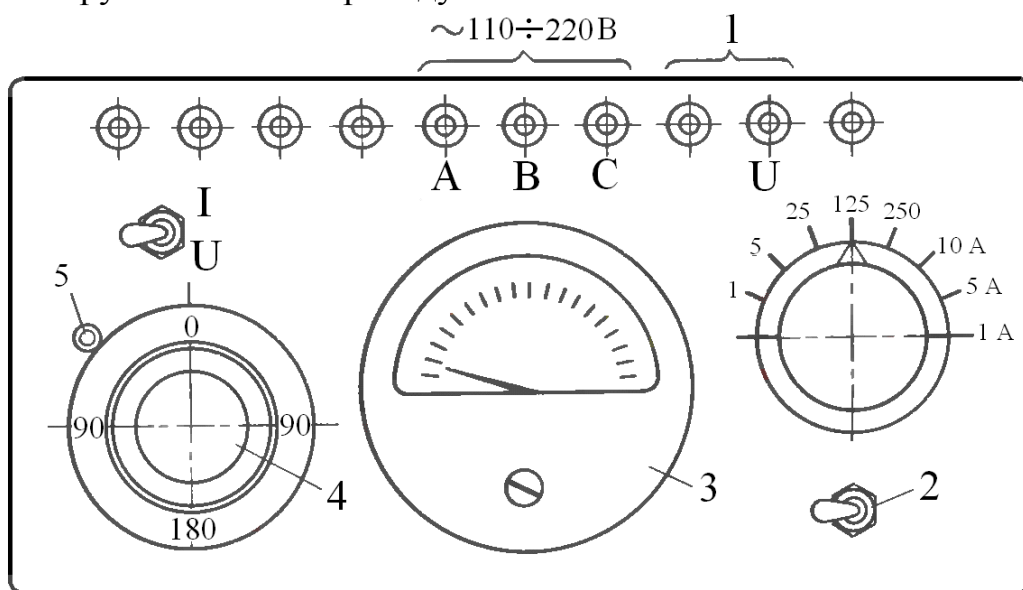


Рис. 6.2 – Зовнішній вигляд приладу ВАФ-85:

1 - виводи для виміру напруги; 2- перемикач виміру фаз; 3 - вимірювальний прилад; 4 - лімб; 5 - важіль для перевірки порядку проходження фаз

*Показчики напруги для фазування.* Фазування в установках напругою понад 1000 В може виконуватися показчиками напруги, призначеними спеціально для цієї мети. У комплект показчика на 10 кВ, як правило, входять: власне показчик напруги, трубка з додатковим резистором і з'єднуючий їх провідник. У корпус (трубку з ізоляційного матеріалу) показчика напруги вмонтовані сиг-

нальна лампа, шунтувальний і три додаткових конденсатори на робочу напругу 15 кВ кожний. У другу трубку вбудовано термостійкі резистори, сумарний опір яких становить 8-10 МОм. Обидві трубки послідовно з'єднані проводом ПВЛ-І, що витримує випробувальну напругу до 20 кВ. До верхніх частин трубок пригвинчені металеві щупи, з'єднані з електричною схемою, до нижніх – ізолюючі штанги з ручкою-захватом. Для фазування на відключений апарат (вимикач, роз'єднувач) з кожної з його сторін подають фазовані напруги. Щупи показчика підносять до струмовідних частин апарата й спостерігають за світінням сигнальної лампи. При цьому можливі два випадки вмикання показчика:

- зустрічне вмикання – це вмикання на незфазовану напругу, лампа показчика в цьому випадку повинна яскраво горіти, сигналізуючи про розбіжність фаз;
- погоджене вмикання – це вмикання на напругу однієї й тієї ж фази. Лампа показчика в цьому випадку світитися не повинна. Відсутність світіння лампи свідчить про можливість вмикання апарата.

Відзначимо деякі вимоги, які пред'являються до показчиків напруги, призначених для фазування. Правила користування й випробування захисних засобів, застосовуваних в електроустановках, нормують так званий *порог запалювання* сигнальної лампи показчика при зустрічному й погодженому вмиканні. Під порогом запалювання розуміють ту мінімальну прикладену до щупів показчика напругу, при якому настає видиме стійке світіння сигнальної лампи. Слід відмітити, що парадоксальне на перший погляд світіння лампи при підключенні обох щупів показчика до однієї фази насправді пояснюється впливом електричних ємностей різних елементів показчика на заземлені конструкції. Проходження струму через ці ємності й приводить до світіння лампи. Щоб уникнути помилки при фазуванні, напруга запалювання показчика при погодженому вмиканні повинна бути більше високою, ніж та робоча напруга, на якій виконується фазування. Порог запалювання при зустрічному вмиканні характеризує чутливість показчика. Чим нижча напруга запалювання лампи, тим більше чутливий показчик. Однак показчики підвищеної чутливості непридатні для фазування, тому що різниця напруг між однойменними фазами двох фазованих частин установки може досягти 8 – 10% робочої напруги. Отже, напруга запалювання при зустрічному вмиканні повинна бути трохи більше зазначеного значення. Практично вона приймається рівною 1000-1500 В. В одержанні необхідних напруг запалювання лампи показчика при погодженому й зустрічному вмиканні відіграє роль шунтування лампи ємністю. Введення в коло шунтуючого конденсатора ємністю 200 пФ дозволило виключити вплив часткових ємностей окремих елементів показчика й забезпечило необхідну величину й стабільність порогів запалювання лампи. При розробці конструкції показчика УВНФ за основу був узятий серійний показчик напруги типу УВН-80, що має в зібраному виді загальну довжину 715 мм і робочої частини – 350 мм. Досвід показав, що розмір робочої частини такого показчика при застосуванні його для фазування повітряних ліній 6–10 кВ безпосередньо на роз'єднувачах зовнішньої установки не забезпечує безпечних умов роботи. Довжина робочої частини показчика порівнянна з висотою струмовідних частин над заземленою

рамою – підставою роз'єднувача, що може привести до перекриття фази на землю при наблизненні трубок до сталевій конструкції. Тому для фазування на стовпових роз'єднувачах розроблений показчик з довжиною робочої частини й трубки з додатковим резистором до 700 мм при загальній довжині показчика 1400 мм. Для фазування на напрузі 35 і 110 кВ розроблений показчик напруги типу УВНФ-35 – 110. Його конструкція аналогічна конструкції показчика УВНФ. Відмінною рисою схеми є полістирольні конденсатори ПОВ-15, що замінили собою резистори. Параметри схеми підібрані так, що показчик став нечутливий до напруги фази щодо землі при погодженому вмиканні. Це відстроювання від дії робочої напруги забезпечило чітку вибірковість показчика до напруги однойменних і різнойменних фаз. У фазувальний комплект показчика (рис. 6.3) входять одна загальна робоча трубка 1 і дві робочих трубки 2 і 3. Загальна трубка застосовується в комплекті із трубкою 2 при фазуванні в установках 110 кВ і в комплекті із трубкою 3 при фазуванні в установках 35 кВ. Ізоляція з'єднувального проводу 4 посилена. Ізолюючі частини 5 розраховані для роботи з напругою в установках до 110 кВ.

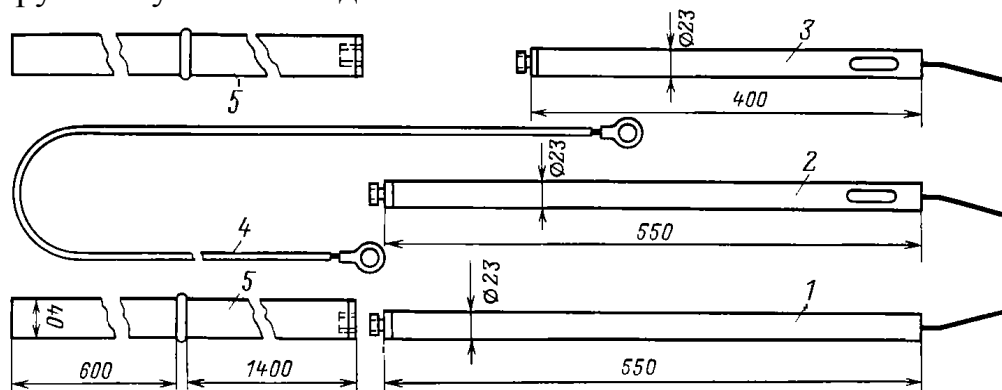


Рис. 6.3 – Показчик напруги для фазування в установках 35 і 110 кВ:

1 - загальна трубка; 2 - робоча трубка класу напруги 110 кВ; 3 - те ж класу 35 кВ; 4 - з'єднувальний провід з посиленою ізоляцією; 5 - ізолюючі штанги

*Перевірка чергування фаз силових трансформаторів.* Відповідно до стандарту вводи трансформаторів розташовують так, щоб чергування їх (зліва направо), якщо дивитися з боку введів вищої напруги, був: у трифазних трансформаторів 0 – А – В – С; 0 - a - b – c; в однофазних – А - х; a - х.

Простежити, чи правильно приєднані кінці обмоток до відповідних введів без розкриття трансформатора, неможливо. Тому правильність позначень введів трифазних трансформаторів і полярність введів однофазних трансформаторів установлюють при перевірці груп з'єднань, що виконується при монтажі й капітальному ремонті трансформаторів із частковою або повною зміною обмоток.

## 6.6. Прямі методи фазування

*Фазування трансформаторів, що мають обмотки НН до 380 В, без установки перемички між затискачами.* Цим методом фазують силові трансформатори, вторинні обмотки яких з'єднані в зірку з виведеною нульовою точкою, а також вимірювальні трансформатори напруги, що мають вторинні обмотки із заземленої нейтраллю. Фазування роблять за допомогою вольтметра з бо-

ку обмотки НН. Вольтметр повинен бути розрахований на подвійну фазну напругу, тому що поява такої напруги між затискачами фазованих трансформаторів не виключена. Фазовані трансформатори вмикають за схемою, представленою на рис. 5.4. Нульові точки вторинних обмоток при цьому повинні бути надійно заземлені або приєднані до загального нульового проводу. Об'єднання нульових точок необхідне для створення між фазованими трансформаторами електричного зв'язку, що утворить замкнутий контур для проходження струму через прилад. Перш ніж приступитися до фазування, перевіряють симетричність напруг трансформаторів. Для цього вольтметр по черзі підключають до затискачів  $a_1 - b_1$ ;  $b_1 - c_1$ ;  $c_1 - a_1$ ;  $a_2 - b_2$ ;  $b_2 - c_2$ ;  $c_2 - a_2$ . Якщо значення вимірюваних напруг сильно відрізняються одне від одного – перевіряють положення перемикачів відгалужень обох трансформаторів. Перемиканням відгалужень зменшують різницю напруг. Фазування допускається, якщо різниця напруг не перевищує 10%.

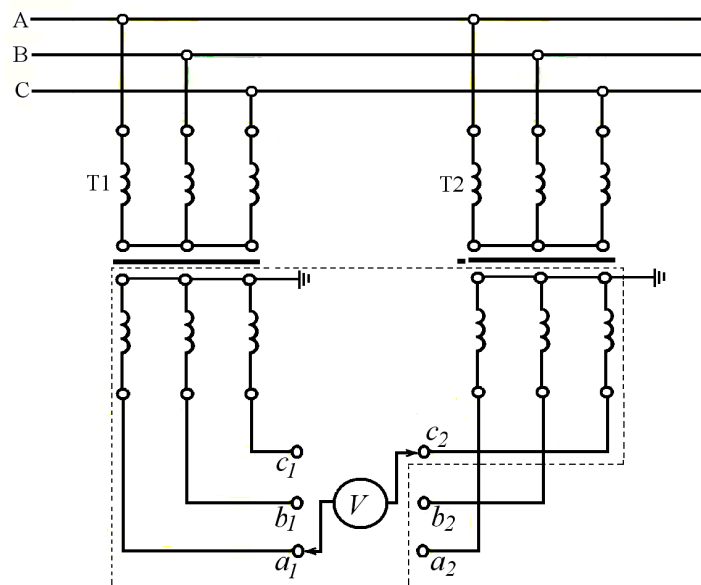


Рис.6.4 – Схема фазування трансформаторів, що мають заземлені нульові точки вторинних обмоток (пунктиром показаний шлях проходження струму через прилад при розбіжності фаз)

Після проведення перерахованих операцій приступають власне до фазування. Сутність його полягає у відшукуванні виводів, між якими різниця напруг дорівнює нулю. Для цього проводи від вольтметра приєднують до одного з виводів першого трансформатора, а іншим проводом по черзі доторкуються трьох виводів другого трансформатора (наприклад, вимірюють напругу між виводами  $a_1 - a_2$ ;  $a_1 - b_2$ ;  $a_1 - c_2$ ). Подальший хід фазування залежить від отриманих результатів. Якщо при одному з вимірів (припустимо, між виводами  $a_1 - a_2$ ) показання вольтметра було рівним нулю, то ці виводи помічають, а вольтметр приєднують до другого виводу (наприклад,  $b_1$ ) першого трансформатора й вимірюють напругу між виводами  $b_1 - b_2$ ;  $b_1 - c_2$ . Якщо знову одне з показань вольтметра (наприклад, між виводами  $b_1 - b_2$ ) виявиться рівним нулю, то фазування вважають закінченим. Особливої необхідності у вимірі напруги між виводами  $c_1 - c_2$  немає, тому що при двох нульових показаннях вольтметра ( $a_1 - a_2$  і  $b_1 - b_2$ )

напруга між третьою парою фаз, природно, повинна бути рівною нулю (рис. 6.5,а). Однак для підтвердження отриманих результатів про збіг фаз все-таки роблять вимір між  $c_1 - c_2$ . Виводи, між якими не було різниці напруг, з'єднують при вмиканні трансформаторів на паралельну роботу. У комутаційного апарата такі виводи повинні перебувати безпосередньо один напроти другого. Якщо після виміру ( $a_1 - a_2$ ;  $a_1 - b_2$ ;  $a_1 - c_2$ ;  $b_1 - a_2$ ;  $b_1 - b_2$ ;  $b_1 - c_2$ ) жодне з показань вольтметра не було рівним нулю, то це говорить про те, що фазовані трансформатори належать до різних груп з'єднань і їхнє вмикання на паралельну роботу неприпустиме. Фазування на цьому припиняють. На підставі вимірів будують векторні діаграми й за ними судять, чи можна включити трансформатори паралельно і які перемикавання необхідно для цього виконати. Характерними є два випадки. У першому з них  $U_{a_1 - a_2} = 1,15U_L$ ;  $U_{a_1 - b_2} = 0,58 U_L$ ;  $U_{a_1 - c_2} = 0,58 U_L$ ;  $U_{b_1 - a_2} = 0,58U_L$ ;  $U_{b_1 - b_2} = 1,15U_L$ ;  $U_{b_1 - c_2} = 0,58U_L$ . Типова для цього випадку векторна діаграма представлена на рис. 5.5, б. З рисунка видно, що вектори вторинних ЕРС повернені на  $180^\circ$ , а напруга між затискачами  $a_1 - a_2$  дорівнює подвійній фазній напрузі  $U_{a_1 - a_2} = 2U_\phi = 2/\sqrt{3} U_L = 1,15U_L$ . Якщо обидва фазованих трансформатора належать до непарних груп, то для вмикання їх паралельно треба в одного з них переключити шини на виводах обмоток ВН і НН, тобто зробити подвійне перемаркування фаз.

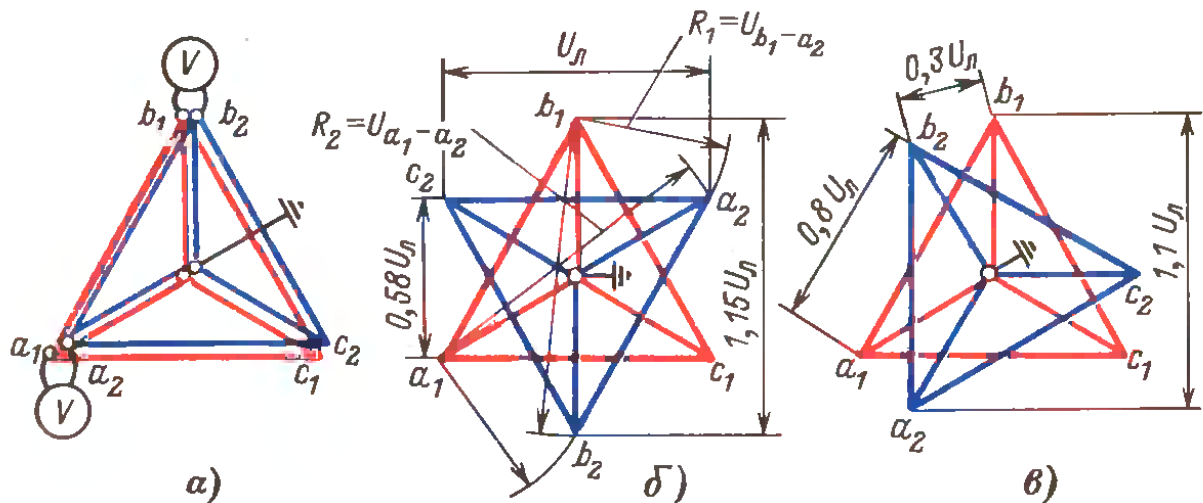


Рис. 6.5 – Векторні діаграми Е.Р.С. обмоток НН фазованих трансформаторів при збігу фаз (а), при зсуві векторів на  $180^\circ$ , наприклад при групах з'єднань Д/У<sub>Н</sub>-11 і Д/У<sub>Н</sub>-5 (б); при зсуві векторів на  $30^\circ$  (Д/У<sub>Н</sub>-0 і Д/У<sub>Н</sub>-11) (в).

Для трансформаторів парних груп (а також парної й нульової) необхідно внутрішнє переєднання обмоток. У другому випадку

$$\begin{aligned} U_{a_1 - a_2} &= 0,3U_L; U_{a_1 - b_2} = 0,8 U_L; \\ U_{a_1 - c_2} &= 1,1U_L; U_{b_1 - a_2} = 1,1 U_L; \\ U_{b_1 - b_2} &= 0,3 U_L; U_{b_1 - c_2} = 0,8 U_L. \end{aligned}$$

На типовій векторній діаграмі (рис. 6.5,в) вектори ЕРС зсунуті на  $30^\circ$ . Такий кут зсуву може бути в трансформаторів парної (або нульової) і непарної груп. Паралельне вмикання таких трансформаторів не може бути виконане ні за яких умов. Техніка побудови векторних діаграм показана на рис. 6.5, б.



Трикутник лінійних ЕРС першого трансформатора будують довільно. А точки вершин другого трикутника знаходять за допомогою засічок радіусами, що чисельно дорівнюють напругам між затискачами  $a_1 - a_2$  і  $b_1 - a_2$ ;  $a_1 - b_2$  і  $b_1 - b_2$ .

Фазування трансформаторів, що мають обмотки НН до 380 В, з установкою перемички між двома виводами. Цей метод застосовують при фазуванні трансформаторів, вторинні обмотки яких не мають нульового виводу. Фазування роблять на стороні НН за допомогою вольтметра. Його шкала повинна бути розрахована на подвійну лінійну напругу. До вмикання фазованих трансформаторів під напругу мегомметром перевіряють опір ізоляції вторинних обмоток щодо землі. Обмотки не повинні мати ніяких з'єднань із землею, тому що подвійне замикання на землю при наявності перемички між виводами може привести до К.З. Перемичка (бажано з опором 3 – 5 кОм) установлюється між двома будь-якими затискачами одного й іншого трансформатора (рис. 6.6). Її наявність не представляє ніякої небезпеки для трансформаторів, оскільки при цьому не утвориться замкнутого кола для проходження струму К.З. Замкнуте коло створюється вмиканням вольтметра, який, як відомо, має опір десятків тисяч Ом, і струм, що протікає через нього мізерно малий.

Для фазування трансформатори включають на напругу з боку ВН, після чого на затискачах НН кожного трансформатора вольтметром перевіряють симетрію напруг, підведених для фазування. Усього виконується шість вимірів.

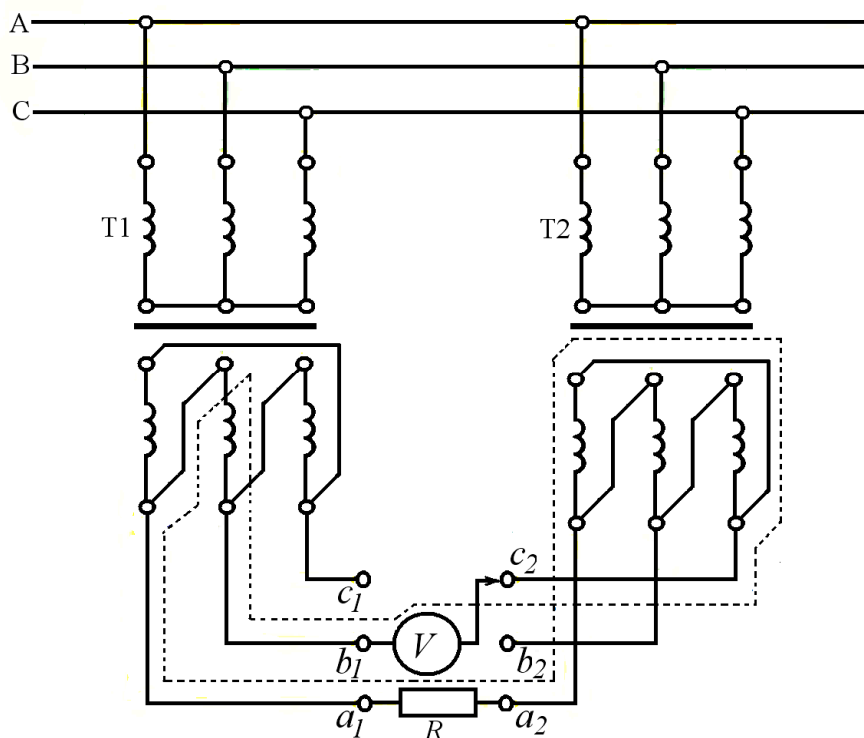


Рис. 6.6 – Схема фазування трансформаторів з установкою перемички між їхніми затискачами (R - резистор з опором 3 кОм)

Фазування виконують у два прийоми. Спочатку вимірюють напругу між одним з вільних виводів першого трансформатора й двома вільними виводами другого трансформатора, наприклад між виводами  $b_1 - b_2$  і  $b_1 - c_2$ . Потім вимірюють напругу між іншим вільним виводом і тими ж виводами другого трансформатора ( $c_1 - b_2$  і  $c_1 - c_2$ ). Дані виміри залежать від того, між якими парами

виводів установлена перемичка. Можливі три варіанти її установки:  $a_1 - a_2$ ;  $b_1 - a_2$ ;  $c_1 - a_2$ . У кожному із цих варіантів при однакових групах з'єднань фазованих трансформаторів будуть відповідати наступні показання вольтметра:

Затискачі, що з'єднуються	$a_1 - a_2$	$b_1 - a_2$	$c_1 - a_2$
Напруга між затискачами	$U_{b1 - b2} = 0$ $U_{b1 - c2} = U_L$ $U_{c1 - b2} = U_L$ $U_{c1 - c2} = 0$	$U_{a1 - b2} = 2U_L$ $U_{a1 - c2} = 1,73U_L$ $U_{c1 - b2} = 1,73U_L$ $U_{c1 - c2} = U_L$	$U_{a1 - b2} = 1,73U_L$ $U_{a1 - c2} = 2U_L$ $U_{b1 - b2} = U_L$ $U_{b1 - c2} = 1,73U_L$

Побудовані за цими даними векторні діаграми ЕРС обмоток НН наведені на рис. 6.7. З рис. 6.7,а безпосередньо видно, що трансформатори мають однакові групи з'єднань і паралельне вмикання їх можливе при з'єднанні між собою виводів  $a_1$  і  $a_2$ ;  $b_1$  і  $b_2$ ;  $c_1$  і  $c_2$ . Тому що дві інші векторні діаграми (рис. 6.8, б, в) побудовані для тих же трансформаторів, вони й дозволяють зробити такий же висновок. Тому фазування звичайно закінчують, як тільки будуть отримані дані одного із трьох варіантів вимірів і побудована векторна діаграма, аналогічна зазначеній на рис. 6.7,а, б, в. Характерним для цього випадку фазування (варіант з'єднання однойменних виводів  $a_1 - a_2$ ) є одержання двох нульових показань вольтметра при кожному вимірі. Однак варто сказати, що два нульових показання можуть бути отримані й при різних групах з'єднань, коли вектори ЕРС зсунуті на  $240^\circ$ . Але при цьому з'єднаними перемичкою повинні бути затискачі  $c_1$  і  $a_2$ : Векторні діаграми наведені на рис. 6.7,г, д, є. Паралельне вмикання таких трансформаторів можливе тільки після перемикання шин, підведених до трансформатора, тобто після циклічного перемаркування фаз.

Про неможливість паралельного вмикання трансформаторів свідчать такі покази вольтметрів, коли при всіх трьох варіантах установки перемички не виходить жодного нульового показання, наприклад: з векторних діаграм, наведених на рис. 28,ж, з, і й побудованих для цього випадку, видно, що вектори лінійних ЕРС зсунуті на  $30^\circ$ .

Такий кут буде отриманий, якщо трансформатори відносяться до непарних і парних (або нульової) груп з'єднань, наприклад У/У-0 і У/Д-11, а їхнє паралельне включення неможливо.

Якщо в процесі фазування у двох із трьох варіантів установки перемички виходить по одному нульовому показанню, то це вказує на допустимість паралельного включення, але тільки після деяких змін у схемі. У трансформаторів непарних груп зі зсувом векторів вторинних ЕРС на  $60^\circ$  (рис. 6.8,к, л, м) необхідно зробити подвійне перемаркування фаз. Умови безпеки при виконанні фазування показчиками напруги. Перш ніж приступити до виконання фазування, необхідно переконатися у виконанні як загальних вимог техніки безпеки по підготовці робочого місця, так і спеціальних вимог по роботі з вимірювальними штангами на устаткуванні, що перебуває під напругою. Електричні апарати, на виводах яких буде виконуватися фазування, ще до подачі на них напруги повинні бути надійно замкнені й вжиті заходи, що запобігають їхньому вмиканню. Показчики напруги перед початком роботи під напругою повинні бути піддані ретельному зовнішньому огляду. При цьому звертається увага на те, щоб лако-

ве покриття трубок, ізоляція з'єднувального проводу й лампа - індикатор напруги не мали видимих ушкоджень і подряпин. Строк придатності показчика перевіряється за штампом періодичних випробувань. Не допускається застосовувати показчики, строк придатності яких минув. При роботах з показчиком напруги обов'язкове застосування діелектричних рукавичок. У ході фазування не рекомендується наближати з'єднувальний провід до заземлених частин. Розташовувати робочі й ізолюючі частини показчиків треба так, щоб не виникала небезпека перекриття по їхній поверхні між фазами або на землю. Фазування показчиком напруги не можна робити під час дощу, снігопаду, при тумані, тому що ізолюючі частини його можуть зволожитися, що приведе до їхнього перекриття.

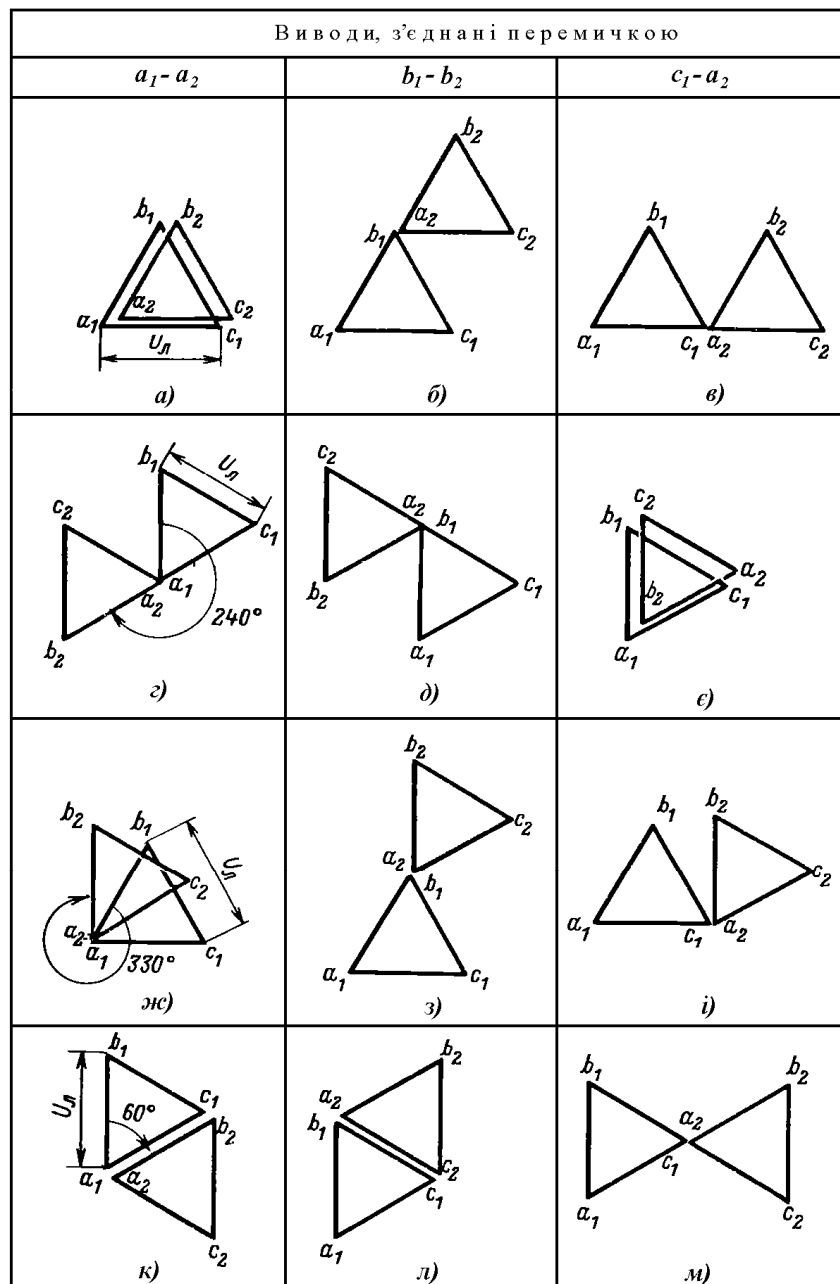


Рис.6.8 – Векторні діаграми ЕРС при фазуванні трансформаторів:  
а, б, в – при однакових групах з'єднань; г, д, е – при зсуву векторів на  $240^0$ ; ж, з, і – те ж на  $330^0$ ; к, л, м – те ж на  $60^0$

## 6.7. Робоче завдання

1. Ознайомитися з паспортними даними фазованих трансформаторів.
2. З'єднати вторинну обмотку трансформаторів в зірку з виведеним нулем (Рис. 6.4).
3. Приєднати один з трансформаторів до мережі, ввімкнути напругу і визначити величину його вторинної напруги, занести результати в таблицю. Вимкнути напругу і приєднати фазовказівник. Ввімкнути напругу і визначити порядок чергування фаз за фазовказівником. Вимкнути напругу.
4. Виконати пункт 3 для іншого трансформатора.
5. Приєднати до мережі обидва трансформатори за схемою рис. 6.5. Ввімкнути напругу. Почергово виміряти напругу між виводами різних трансформаторів, визначити однойменні виводи. Вимкнути напругу і виконати маркування виводів.
6. З'єднати однойменні виводи вторинних обмоток. Ввімкнути напругу. **Якщо після вмикання спостерігається ненормальне гудіння трансформаторів чи помітне їх швидке нагрівання напругу негайно вимкнути і перевірити з'єднання.** Вимкнути напругу і в розрив провідника, що з'єднує одну групу фаз, ввімкнути амперметр. Ввімкнути напругу і вимірити зрівнювальний струм трансформаторів. Вимкнути напругу. Результати вимірів занести до таблиці.

Вторинна напруга трансформатора, В

$U_a$	$U_b$	$U_c$	$U_{ab}$	$U_{bc}$	$U_{ca}$

Напруга між фазами трансформаторів, В

$U_{a1-a2}$	$U_{a1-b2}$	$U_{a1-c2}$	$U_{b1-a2}$	$U_{b1-b2}$	$U_{b1-c2}$	$U_{c1-a2}$	$U_{c1-b2}$	$U_{c1-c2}$

Зрівнювальний струм – \_\_\_\_\_ А.

7. З'єднати вторинні обмотки трансформаторів за схемою трикутник.
8. Приєднати один з трансформаторів до мережі і вимірити вторинну напругу, результати занести в таблицю. Вимкнути напругу.
9. Приєднати до мережі обидва трансформатори за схемою рис. 5.6, ввімкнувши між будь-якими виводами різних трансформаторів додатковий опір. Ввімкнути напругу. Почергово виміряти напругу між виводами різних трансформаторів, результати вимірів занести до таблиці. Вимкнути напругу. За результатами вимірів визначити однойменні фази.
10. З'єднати визначені однойменні виводи. Ввімкнути напругу. **Якщо після вмикання спостерігається ненормальне гудіння трансформаторів чи помітне їх швидке нагрівання напругу негайно вимкнути і перевірити з'єднання.** Вимкнути напругу і в розрив провідника, що з'єднує одну групу фаз, ввімкнути амперметр. Ввімкнути напругу і вимірити зрівнювальний струм трансформаторів. Вимкнути напругу. Результати вимірів занести до таблиці.

### Вторинна напруга трансформатора, В

$U_{ab}$	$U_{bc}$	$U_{ca}$

Затискачі, що з'єднуються	$a_1 - a_2$		$b_1 - a_2$		$c_1 - a_2$	
Напруга між затискачами	$U_{b1-b2}$	0	$U_{a1-b2}$		$U_{a1-b2}$	
	$U_{b1-c2}$	0	$U_{a1-c2}$		$U_{a1-c2}$	
	$U_{c1-b2}$		$U_{c1-b2}$		$U_{b1-b2}$	
	$U_{c1-c2}$		$U_{c1-c2}$		$U_{b1-c2}$	

Зрівнювальний струм – \_\_\_\_\_ А.

11. Зробити письмові висновки.

### 6.8. Контрольні питання

6.8.1. В чому полягає процес фазування? З яких операцій складається фазування?

6.8.2. Які прилади й пристосування застосовуються для фазування при напрузі до 1000 В?

6.8.3. Які прилади й пристосування застосовуються для фазування при напрузі вище 1000 В?

6.8.4. Поясніть конструкцію високовольтного показчика напруги.

6.8.5. Поясніть як здійснюється фазування трансформаторів з вторинною напругою до 380 В без установки перемички між затискачами трансформаторів?

6.8.6. Поясніть як здійснюється фазування трансформаторів з вторинною напругою до 380 В з установкою перемички між затискачами трансформаторів?

6.8.7. Що може свідчити про неможливість паралельного вмикання трансформаторів при фазуванні з установкою перемички між затискачами трансформаторів?

6.8.8. Наведіть основні правила техніки безпеки при фазуванні.

*Навчальне видання*

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт

з курсу

«ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА СТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ»

(для студентів 3, 4 курсу денної та 4 курсу заочної форм навчання  
за напрямом підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології»  
та слухачів другої вищої освіти зі спеціальності  
7.05070103 «Електротехнічні системи електроспоживання»)

Укладачі: **Воропай** Валентина Григорівна,  
**Гаряжа** Василь Миколайович,  
**Румянцев** Дмитрий Валерьевич

Відповідальний за випуск *Ю. П. Кравченко*

*За авторською редакцією*

Комп'ютерне верстання *Н. В. Зражевська*

План 2013, поз. 219 М

Підп. до друку 15.01.2014  
Друк на ризографі  
Зам. №

Формат 60x84 /16  
Ум. друк. арк. 2,8  
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова  
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4705 від 28.03.2014 р.